В. В. АРИСТОВ

ПОИСКИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В. В. АРИСТОВ

ПОИСКИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для студентов геологических специальностей вузов

2/8144

МГРИ
имени
ОРДЖОНИКИДЗЕ
УЧЕБНАЯ
БИБЛИОТЕКА

МОСКВА «НЕДРА» 1975

УДК 550.8 (075.8)

Аристов В. В. Поиски твердых полезных ископаемых. М., «Недра», 1975. 253 с.

В книге изложено содержание учебного курса по поискам месторождений твердых полезных ископаемых.

Во введении указываются задачи учебного курса, связь его с другими учебными дисциплинами, основные достижения геологической службы СССР в области поисков полезных ископаемых.

В первом разделе приводится характеристика объектов поисковых работ, предъявляемые к ним требования, общие принципы их изучения и классификация. Рассматриваются также геологические (структурные, минералогические, геохимические) и геофизические поля и аномалии как основа прогноза и методики поисков полезных ископаемых.

Второй раздел посвящен прогнозу месторождений полезных ископаемых. Рассматриваются общие принципы прогноза, предпосылки и признаки поискового прогнозирования, карты прогноза и методика их составления. Обращается внимание на особенности прогноза скрытых месторождений экзогенных и эндогенных полезных ископаемых.

В третьем разделе излагаются вопросы методики поисков месторождений полезных ископаемых. Приводится классификация и характеристика современных методов поисков, ландшафтно-географические условия их ведения и комплексирования. Излагается методика поисковых работ на отдельных стадиях: предварительные поиски, сопровождающие региональную геологическую съемку; детальные поиски и поисково-оценочные работы.

В четвертом разделе даны общие принципы оценки результатов, а также геологической и экономической эффективности поисковых работ.

Табл. 29, ил. 78, список лит. — 199 назв.

$А\ \frac{20804-478}{043(01)-75}\ 2-75$

© Издательство «Недра», 1975

ПРЕДИСЛОВИЕ

Поиски месторождений полезных ископаемых — одна из составных частей геологоразведочного процесса, имеющая специфические особенности обоснования и методики их выполнения, которые отличают их от другой части этого процесса — разведки месторождений полезных ископаемых.

В Московском геологоразведочном институте им. С. Орджоникидзе в последнее десятилетие читается новый учебный курс «Поиски месторождений твердых полезных ископаемых», материалы которого послужили основой для составления данного учебного пособия.

Этот курс отражает одно из направлений советской школы поисковиков-разведчиков, которую в свое время возглавлял проф. В. М. Крейтер. В его обобщающих работах, в том числе и в учебниках «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» [93] и [94], были впервые даны теоретические и практические разработки в области прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых.

В настоящее время советскими геологами накоплен огромный опыт поисков месторождений различных полезных ископаемых, даже частичное обобщение которого позволяет дополнить существующие учебные пособия и руководства. Попытка этого сделана в данной работе.

Опыт зарубежных стран в области поисков месторождений твердых полезных ископаемых также весьма интересен и обширен, но для его обобщения должны быть выполнены специальные исследования и опубликованы специальные монографии.

Автор благодарен коллективу кафедры методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых МГРИ за помощь в разработке учебного курса по поискам полезных ископаемых. За постоянную помощь и критические замечания в процессе чтения курса и при подготовке работы к печати автор особенно признателен Д. С. Крейтер и Г. Г. Русецкой.

За очень ценные замечания и советы, которые учтены при подготовке работы к печати, автор выражает большую благодарность Д. И. Горжевскому и Н. Н. Трофимову.

ВВЕДЕНИЕ

Главной особенностью современного промышленного и сельскохозяйственного производства СССР является непрерывно возрастающие объемы выпускаемой продукции, которые необходимы для удовлетворения растущих потребностей народного хозяйства (табл. 1).

Таблица 1

Объемы некоторых видов промышленного производства в СССР
(по данным БСЭ, сообщений ЦСУ СССР и Директив XXIV съезда КПСС)

Виды промышленного производства	1913 г.	1925 г.	1971 г.	1973 г.	1975 г. (план)
Сталь, млн. т . . .	4,2	2,23	121	131	142—150
Уголь, млн. т . . .	29,1	17,0	641	668	685—695
Минеральные удобрения, млн. т . . .	—	—	61,4	72,3	90,0
Электроэнергия, млрд. кВт·ч . . .	1,9	2,9	800	915	1030—1070
Автомобили, тыс. шт.	—	0,8 (1928 г.)	1142,7	1602	2000—2100
Тракторы, тыс. шт.	—	51 (1937 г.)	472	500	575

Огромные масштабы современного социалистического производства СССР требуют получения больших масс минерального сырья. Постоянное извлечение его из недр вызывает необходимость обеспечения выявленными запасами минерального сырья в перспективе на 40—50 лет вперед.

Как известно, расход минерального сырья для получения первичной продукции характеризуется значительными величинами, например для 1 т чугуна или стали требуется переработать в среднем около 2—3 т железной руды, 1 т меди — около 100 т медной руды, 1 т молибдена — около 1000 т руды, и т. д.

Главной задачей геологов постоянно является выявление и подготовка к эксплуатации промышленных месторождений различных видов минерального сырья. Эта задача успешно выполняется, о чем свидетельствуют итоги работы геологической службы за годы Советской власти. Схема размещения месторождений твердых полезных ископаемых (рис. 1) отражает развитие

поисковых работ на территории СССР в различные периоды. До 1917 г. эти работы были сосредоточены главным образом в Донбассе, на Кавказе и Урале. В период с 1917 по 1941 г. работы по поискам и разведке месторождений охватывали территории Казахстана, Средней Азии, Кузбасса, Забайкалья, Хабаровского края. После Великой отечественной войны поиски месторождений полезных ископаемых осуществляются не только в старых районах, но и в новых наиболее труднодоступных районах — в Якутии, на Колыме, Чукотке, Камчатке. Для послевоенного периода характерно резкое возрастание объемов поисковых и разведочных работ, усиление их технического оснащения, обеспечивших выявление и оценку крупных месторождений полезных ископаемых, в том числе и не имеющих выхода на поверхность (скрытых). На территории РСФСР выявлены, разведаны и переданы в эксплуатацию месторождения богатых железных руд КМА, Северо-Онежский бокситоносный бассейн. Гайское месторождение медных руд, Талнахское и Октябрьское месторождения медно-никелевых руд, Озерное месторождение полиметаллических руд, месторождения алмазов, золота, олова, слюды в Якутской АССР, Николаевское месторождение свинцово-цинковых руд, месторождения золота и олова в Магаданской области. В Белорусской ССР открыто крупное Старобинское месторождение калийных солей, на территории Украинской ССР — Больше-Токмакское месторождение марганцевых руд, Раздольнинское месторождение самородной серы. В Казахской ССР, где до Октябрьской революции эксплуатировались только полиметаллические месторождения Рудного Алтая, открыто и разведано более 2 тыс. промышленных месторождений полезных ископаемых: железорудные, медные, полиметаллические, вольфрамовые, молибденовые и многие другие. В Узбекской ССР выявлены золоторудные, медные и полиметаллические месторождения. В Киргизской ССР в последние годы открыт новый оловоносный район. В республиках Закавказья обнаружены и разведаны месторождения золота, меди, свинца и цинка, неметаллического сырья. В Прибалтийских республиках разведаны и осваиваются промышленностью месторождения горючих сланцев, фосфоритов, строительных материалов.

На территории Советского Союза открыто и разведано свыше 16 тыс. промышленных месторождений важнейших полезных ископаемых, на основе которых возникли новые, ранее не существовавшие отрасли народного хозяйства, создана самая мощная в мире сырьевая база, обеспечивающая все отрасли минеральным сырьем. СССР занимает ведущее место в мире по разведанным запасам углей, железных руд, меди, вольфрама, свинца, цинка, фосфатного сырья, калийных солей, самородной серы и плавикового шпата, никеля, олова, молибдена, ртути и других полезных ископаемых, и первое место по добыче углей, железных и марганцевых руд, хромитов, асбеста, калийных солей, фосфатного

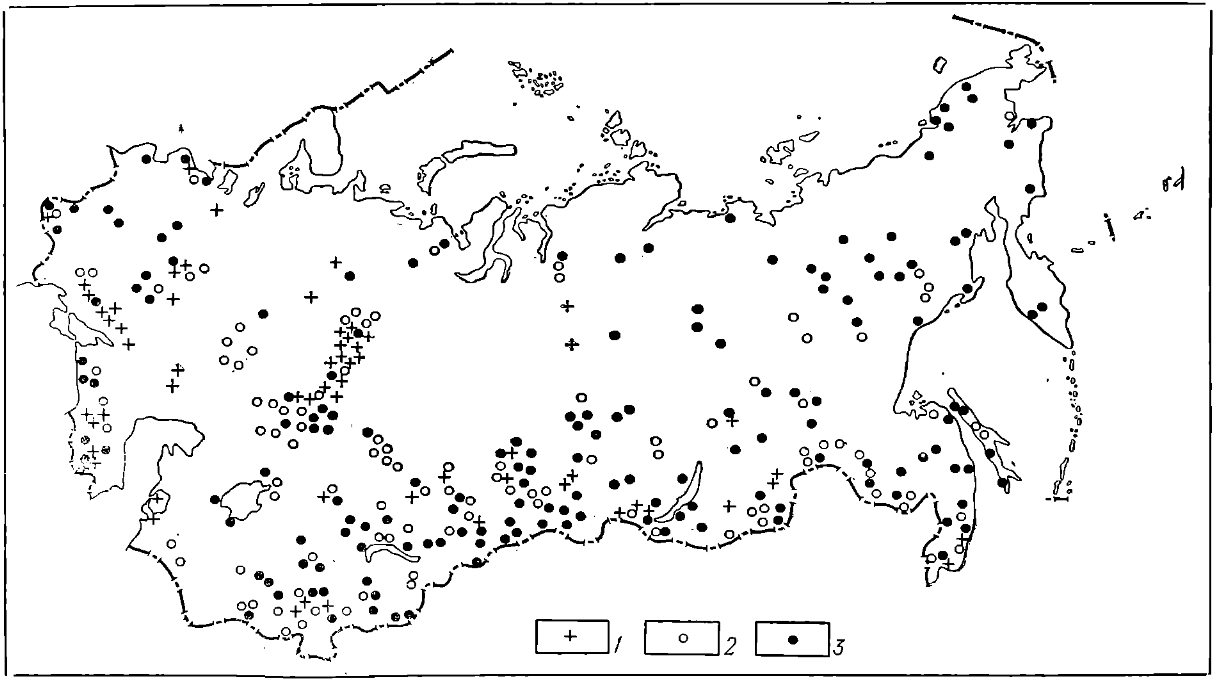


Рис. 1. Схема размещения месторождений твердых полезных ископаемых на территории СССР
Месторождения и бассейны, открытые: *1* — до 1917 г.; *2* — в период с 1917 по 1941 г.; *3* — после 1941 г.

сырья [173]. На базе открытых месторождений построено более 700 новых городов и поселков городского типа, в том числе 460 в РСФСР, 53 в Казахской ССР, 33 в УССР, 42 в Азербайджанской ССР, 16 в Узбекской ССР, 17 в Киргизской ССР [140]. Среди них имеются города и поселки, названные в честь выдающихся геологов нашей страны: Губкин, Билибино, Лутугино и др.

Открытия месторождений были сделаны геологами, геофизиками и другими специалистами геологической службы СССР, кадры которой в настоящее время значительно возросли по сравнению с дореволюционным периодом. В 1912 г. в России насчитывалось всего 30 геологов [25], а к 1972 г. только в системе Министерства геологии СССР работало 60 400 специалистов с высшим образованием, 113 000 дипломированных специалистов [173].

Подготовка кадров геологического профиля ведется в 44 вузах и 45 техникумах.

Одними из главных проблем в области выявления новых промышленных месторождений полезных ископаемых на ближайшие 15—20 лет являются следующие.

1. Региональное и детальное геологическое картирование страны и отдельных ее районов как научная основа поисковых работ.

2. Поиски полезных ископаемых и прежде всего дефицитных в данный период развития производства. Особое внимание должно уделяться поискам промышленных месторождений в известных районах, где действуют горно-обогатительные предприятия. В новых районах поиски должны осуществляться для создания резерва месторождений, которые будут заслуживать постановки разведочных работ и являться в перспективе объектами будущей эксплуатации.

3. Развитие геологической науки в направлении научного обоснования геологоразведочных работ и прежде всего разработки прогнозов промышленных месторождений полезных ископаемых, в том числе скрытых месторождений.

4. Повышение геологической и экономической эффективности поисковых работ путем разработки новых и прямых методов поисков, а также рационального сочетания известных методов поисков, создания и внедрения новых технических средств. Особое внимание должно быть уделено развитию и широкому применению геофизических, ядернофизических и геохимических методов поисков, а также внедрению высокопроизводительных буровых, горнопроходческих агрегатов и лабораторных установок.

5. Подготовка кадров высококвалифицированных специалистов геологического профиля, которые должны обеспечить решение всех задач по дальнейшему развитию минерально-сырьевой базы.

Подготовка геологических кадров предусматривает изучение многих геологических и технических дисциплин, в том числе и курса «Поиски месторождений твердых полезных ископаемых».

Данный курс является составной частью учения о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. Другие разделы этого учения — «Разведка», «Опробование» и «Подсчет запасов» — рассматриваются в самостоятельных учебных курсах.

Курс «Поиски» рассматривает вопросы прогноза промышленных месторождений полезных ископаемых, методы наиболее эффективного их выявления и принципы перспективной оценки.

В современных условиях используется огромное количество различных видов твердых полезных ископаемых, промышленные месторождения которых прогнозируют, выявляют, разведуют и передают промышленности работники геологической службы.

Геологи, занимающиеся поисками полезных ископаемых, должны учитывать не только специфические черты отдельных видов полезных ископаемых, требующих особого подхода в каждом конкретном случае, но и те элементы сходства между ними, которые позволяют использовать общие принципы прогноза, методики поисков и перспективной оценки.

Учебный курс «Поиски месторождений твердых полезных ископаемых» рассматривает прежде всего эти общие принципы и в то же время уделяет внимание и специфическим особенностям каждого вида полезных ископаемых.

Связь курса «Поиски твердых полезных ископаемых» с другими геологическими и техническими дисциплинами отражена на рис. 2. Развитие рассматриваемого курса в самостоятельную учебную дисциплину происходило постепенно, по мере того как развивалась геологическая наука в целом. Учение о поисках и разведке месторождений полезных ископаемых начало выделяться из горного искусства на рубеже XIX—XX вв. Но в то же время и несколько позже поиски и разведка полезных ископаемых рассматривались под единым наименованием «Разведка». Например, книга С. Г. Войслава, включавшая вопросы поисков и разведки, называлась «Разведка пластовых месторождений полезных ископаемых» [33]. Значительно реже в наименовании работы указывалось слово «поиски» [150]. Что же касается самостоятельного учебного курса по поискам полезных ископаемых, то он обычно не читался и специальных учебных пособий или руководств по нему не издавалось.

Впервые раздел о поисках был выделен в самостоятельную часть в учебнике В. М. Крейтера «Поиски и разведка полезных ископаемых», опубликованном в 1940 г. В учебнике В. И. Смирнова «Геологические основы поисков и разведки рудных месторождений», изданном в 1954 г., раздел «Поиски» также являлся самостоятельной частью.

В 1959 г. вышла в свет обобщающая монография в области поисков В. И. Красникова «Основы рациональной методики поисков рудных месторождений» [92]. Во втором издании книги В. М. Крейтера «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» [94] разделы «Поиски и поисково-разведочные

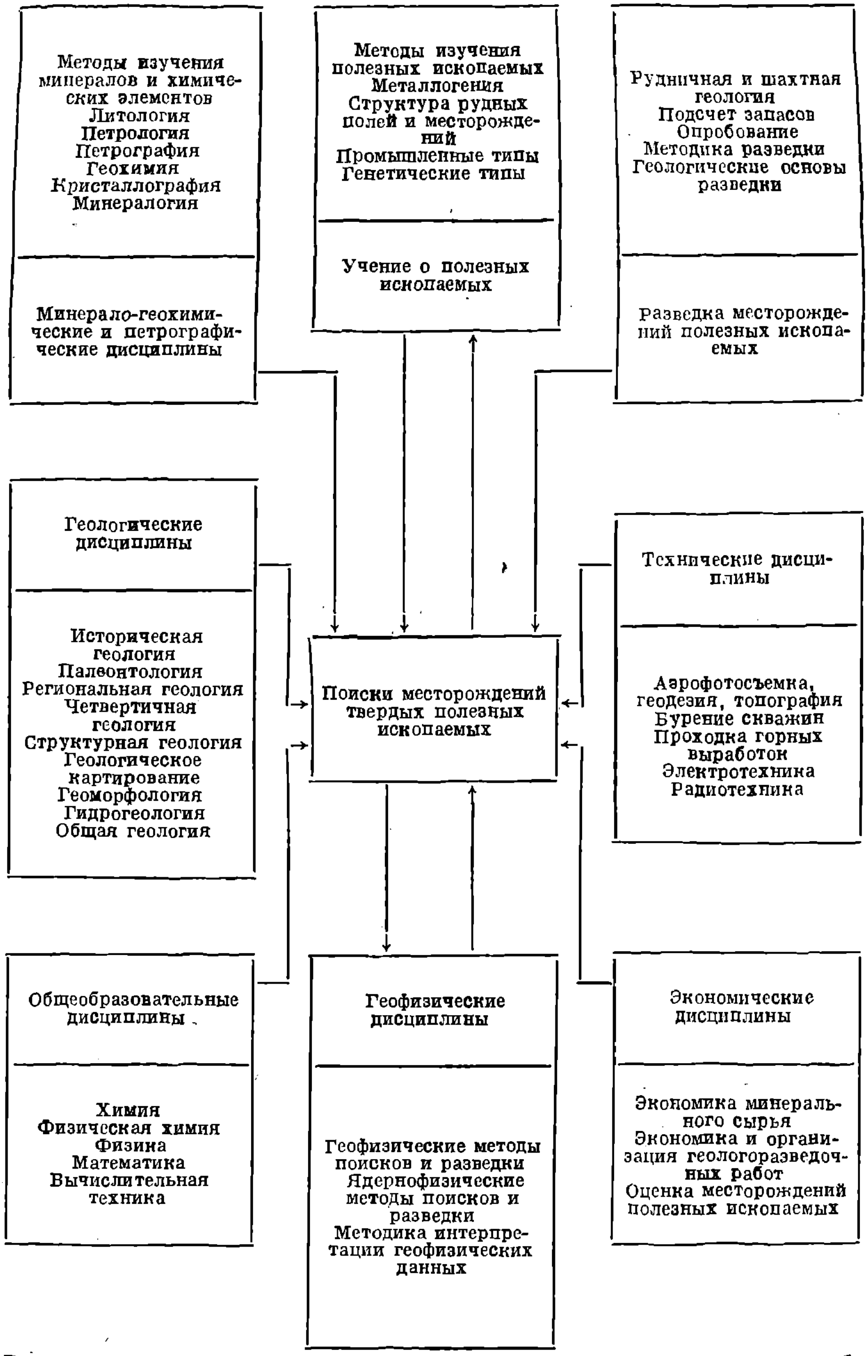


Рис. 2. Связь курса «Поиски твердых полезных ископаемых» с другими учебными дисциплинами

работы» были опубликованы в виде отдельного тома. В учебнике Е. О. Погребицкого и др. [137] также выделен раздел «Поиски».

В последующие годы чаще стали появляться работы, посвященные общим вопросам обоснования и методики поисков полезных ископаемых. В 1968 г. коллективом авторов (В. Н. Козеренко, А. А. Беус, А. В. Дружинин, Д. И. Горжевский и др.) под редакцией В. М. Крейтера был издан I том «Поиски» монографии «Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых» [180]. В дальнейшем в свет вышли многочисленные сборники, монографии и статьи, затрагивающие те или иные вопросы прогноза и методики поисков («Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых» [125] и др.).

Раздел о поисках месторождений полезных ископаемых выделен также в руководствах для практических занятий [62, 157] по общему курсу поисков и разведки.

Многолетний опыт преподавания самостоятельного учебного курса «Поиски месторождений твердых полезных ископаемых» в Московском геологоразведочном институте им. С. Орджоникидзе послужил основой для составления данного учебного пособия.

РАЗДЕЛ I

ОБЪЕКТЫ ПОИСКОВЫХ РАБОТ И ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ

Глава 1

СОВРЕМЕННЫЕ ПОНЯТИЯ О ПОИСКАХ И СТАДИИ ПОИСКОВЫХ РАБОТ

В современной литературе термин «поиски» определяется следующим образом: «поиски (месторождений полезных ископаемых) — комплекс работ, направленных на выявление и перспективную оценку месторождений полезных ископаемых» [40]. «Под поисками понимается совокупность операций, направленных на обнаружение промышленных месторождений полезных ископаемых» [94].

Принимая во внимание успехи геологической науки в целом и учения о поисках и разведке полезных ископаемых в частности, в приведенные выше определения должны быть внесены некоторые уточнения. В работе [180] отмечается: «В настоящее время может быть значительно увеличен элемент научного прогнозирования при поисках и разведке, т. е. можно с большей уверенностью, чем раньше, говорить об определенных теоретических основах поисков и разведки полезных ископаемых».

Таким образом, определение понятия «поиски» можно сформулировать в следующем виде: поиски (или поисковые работы) — это процесс прогнозирования, выявления и перспективной оценки новых месторождений полезных ископаемых, заслуживающих разведки. Промышленное значение вновь выявленных месторождений определяется при предварительной разведке, полная оценка проводится по результатам детальной разведки месторождений.

Составными элементами поисковых работ являются прогноз полезных ископаемых, методика их выявления и перспективная оценка с целью решения вопроса о целесообразности постановки разведочных работ.

Поиски являются составной частью сложного геологоразведочного процесса, в котором выделяются последовательные стадии, оправдавшие себя на практике.

В соответствии с методическими указаниями о проведении геологоразведочных работ, утвержденными в 1975 г., геологоразведочные работы на твердые полезные ископаемые подразделяются на следующие стадии и подстадии.

I стадия — региональные геологосъемочные и геофизические работы:

I-1 — региональные геофизические работы масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000);

I-2 — региональная геологическая съемка масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000);

I-3 — региональная геологическая съемка масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000);

I-4 — глубинное геологическое картирование.

II стадия — поиски месторождений полезных ископаемых:

II-1 — общие поиски;

II-2 — детальные поиски;

II-3 — поисково-оценочные работы.

III стадия — предварительная разведка.

IV стадия — детальная разведка.

V стадия — разведка эксплуатируемого месторождения в пределах горного отвода.

VI стадия — эксплуатационная разведка.

В качестве основного подразделения геологоразведочных работ принимается стадия, а не этап, как прежде. Под «этапом» теперь понимается часть геологического задания, в результате завершения которой полностью решается определенная по геологическому содержанию задача (или несколько задач). В соответствии с проектом составляется поэтапный календарный план выполнения геологического задания на определенной стадии работ [117].

В данном курсе рассматриваются вопросы, касающиеся двух первых стадий: региональных геологосъемочных и геофизических работ и поисков месторождений полезных ископаемых.

На I стадии региональных геологосъемочных и геофизических работ предусматривается комплексное геологическое изучение территории СССР с проведением предварительных поисков, сопровождающих региональную геологическую съемку.

Региональные геофизические работы масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000) имеют целью обеспечение геофизической основой геологосъемочных и поисковых работ масштабов 1 : 200 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000. Задача региональной геологической съемки масштаба 1 : 200 000 (1 : 100 000) с сопутствующими поисками состоит в изучении геологического строения и в прогнозной оценке исследуемой территории на все виды полезных ископаемых.

Региональная геологическая съемка масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с сопутствующими поисками имеет целью изучение геологического строения наиболее перспективных частей геологических регионов и их оценку с выделением локальных площадей

и участков для постановки поисковых и поисково-оценочных работ.

Глубинное геологическое картирование проводится на территориях, ранее заснятых с поверхности, но не изученных на глубину, или территорий, где практический интерес представляют комплексы пород, не обнажающиеся на поверхности земли, для определения направления последующих поисковых работ.

На II стадии осуществляются поиски месторождений полезных ископаемых. Эти работы имеют специализированный характер, так как направлены на обнаружение месторождений определенных видов минерального сырья.

Общие поиски проводятся в пределах перспективных геологических структур, выделенных при геологической съемке масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000) с целью выделения площадей и участков для постановки детальных поисков.

Детальные поиски ведутся для выявления месторождений определенных промышленно-генетических типов с целью их перспективной оценки с подсчетом прогнозных запасов и выбора проявлений полезных ископаемых, заслуживающих дальнейшей оценки.

Поисково-оценочные работы (по старой терминологии — поисково-разведочные работы) планируются и проводятся с целью оценки промышленных перспектив проявлений полезных ископаемых с подсчетом прогнозных запасов и частично запасов категории C_2 и выделением месторождений для предварительной разведки.

Глава 2

ОБЪЕКТЫ ПОИСКОВЫХ РАБОТ И ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ ТРЕБОВАНИЯ

Новая система планирования и экономического стимулирования применительно к геологоразведочным работам предусматривает более точное толкование некоторых понятий и определений. К их числу относится понятие «объект геологоразведочных работ», имеющее большое значение для правильного формулирования геологического задания. Последнее является основным показателем плана геологической организации (управления, треста, экспедиции, партии), по выполнению которого оценивается ее производственная деятельность. Поскольку геологические задания разрабатываются для отдельных стадий геологоразведочных работ, их объекты рассматриваются также по стадиям.

Главным и конечным объектом поисков является месторождение полезного ископаемого, имеющее промышленное значение. Выявление такого объекта представляет собой обычно задачу весьма сложную, требующую в современных условиях осуществления ряда стадий поисковых работ. В связи с этим на каждой стадии

изучаются промежуточные объекты, которые имеют важное значение, но являются лишь ступенью к достижению основной цели.

Объектом региональных геофизических работ, геологической съемки, глубинной геологической съемки и сопровождающих их предварительных поисков является регион (район) определенной площади, соответствующий планшетам карт масштаба 1 : 200 000, 1 : 100 000, 1 : 50 000 или 1 : 25 000, а в некоторых случаях крупная перспективная зона.

Объектами II поисковой стадии, включающей общие и детальные поиски, а также поисково-оценочные работы, могут быть перспективные площади и участки, структуры, массивы, аномалии (минералогические, геохимические, геофизические), проявления и месторождения полезных ископаемых.

Как отмечено выше, конечным объектом поисковых рабох являются месторождения полезных ископаемых, заслуживающие постановки предварительной разведки. Все другие перечисленные объекты (проявления полезных ископаемых, аномалии, перспективные участки, зоны, регионы или районы) являются лишь промежуточной ступенью исследований. Однако в современных условиях, когда возможность обнаружения месторождений, выходящих на поверхность, сокращается, всестороннее изучение и оценка промежуточных объектов приобретает особенно большое значение. В связи с этим усиливается и роль геологической систематики и классификации этих объектов, необходимых для разработки прогнозов и методики поисковых работ.

Объекты поисковых работ подвергаются оценке для решения вопроса о необходимости постановки или продолжения на них тех или иных исследований. Такая оценка производится на основе определенных требований, соответствующих категориям объектов. К объектам I стадии, которые, как отмечено, являются лишь промежуточной ступенью, предъявляются более общие требования, чем к объектам поисковых работ II стадии. Оценка объектов I стадии предусматривает определение возможности выявления полезных ископаемых. Для этой цели необходимо обязательное использование материалов региональных аэрофотосъемок и аэрогеофизических исследований, а также данных ранее выполненных наземных геологических, топографических, геофизических и поисковых работ соответствующих масштабов.

Для предварительной оценки объектов II стадии требования повышаются. Например, при оценке аномалий различного типа требуется обоснование их связи с возможными или ожидаемыми месторождениями и проявлениями полезных ископаемых на основе всесторонней интерпретации имеющихся материалов. Для предварительной оценки вновь выявленных проявлений и месторождений полезных ископаемых применяются более конкретные требования промышленности к определенному виду полезного

ископаемого. Эти требования включают ориентировочные знания следующих параметров:

— генетического и промышленного типов ожидаемого месторождения;

— возможных запасов полезных ископаемых или полезных компонентов;

— возможного качества полезного ископаемого;

— горнотехнических и экономических условий.

Генетический и промышленный типы ожидаемых месторождений имеют большое значение для прогноза, методики поисков и оценки результатов. Генетический тип и формация ожидаемого месторождения определяют направление поисков, промышленный тип месторождения — выбор наиболее перспективного и надежного объекта первоочередной разведки и последующей эксплуатации.

Генетический тип месторождения определяется (по С. С. Смирнову) характером физико-химической системы. Под рудной формацией понимается (по Р. М. Константинову) группа месторождений со сходными по составу минеральными ассоциациями и близкими геологическими условиями образования. Промышленными считается (по В. М. Крейтеру) такой тип месторождений, который экономически целесообразно и технически возможно разрабатывать на данном уровне развития техники и производительных сил и который дает не менее 1% мировой добычи данного вида полезного ископаемого.

Количество генетических типов месторождений и формаций для большего числа видов полезных ископаемых обычно больше количества промышленных типов. Поэтому необходимо иметь полное представление о соотношении тех и других. В качестве примера ниже рассматривается молибден, для которого в табл. 2 приведены генетические и промышленные типы месторождений.

В процессе поисков на площади определенного района могут быть выявлены проявления молибдена нескольких генетических типов и рудных формаций. Для выбора первоочередных объектов, рекомендуемых к постановке поисково-оценочных работ, а затем разведочных работ, необходимо иметь в виду возможные промышленные типы, которые занимают ведущее положение в мировой или отечественной практике [94, 95, 180].

Промышленные типы месторождений различных полезных ископаемых изучаются в специальном учебном курсе, поэтому в данной работе не рассматриваются. Для обсуждения вопросов поисков месторождений необходимо знать основные промышленные типы и их геологические и экономические особенности.

Знание промышленных типов обеспечивает рациональный выбор первоочередных объектов для детальных поисков, поисково-оценочных и разведочных работ. Значение отдельных промышленных типов может изменяться: одни из них постепенно утрачивают главное значение, другие, наоборот, становятся ведущими.

Таблица 2

Генетические и промышленные типы месторождений молибдена

Генетический тип	Рудная формация (по Н. А. Хрущову)	Промышленный тип (по В. М. Крейтеру)	Значение промышленного типа в мировой практике, %	
			по запасам	по добыче
Эндогенная группа				
Магматический	Молибденитовая (в гранитах и других породах)	—	—	—
Контактово-метасоматический	Молибденит-шеелитовая в скарнах на контакте карбонатных пород с гранитами	Средние по размерам пластообразные и жилообразные месторождения в скарнах	8	14
Постмагматический (гидротермальный)	Кварц-молибденовая в гранитах, гнейсах			
	Кварц-вольфрамит-грейзеновая в гранитах и зоне их экзоконтакта	Небольшие кварц-молибденитовые жилы в различных породах	2	2
	Кварц-молибденит-серицитовая в гранитах и зоне экзоконтакта; Кварц-молибденит-халькопирит-серицитовая в гранитах и гранодиоритах	Крупные штокверки кварц-молибденитовых и кварц-молибденит-халькопиритовых руд преимущественно в малых интрузивах	90	84
	Колчеданная с молибденитом	—	—	—
	Уран-молибденовая	—	—	—
Экзогенная группа				
Коры выветривания	Вульфенитовая в зоне окисления свинцовых месторождений	—	—	—
Осадочный	Углисто-кремнистая и угольная с молибденитом	—	—	—

Практика поисковых и разведочных работ полностью подтверждает вывод о необходимости ориентироваться прежде всего на те промышленные типы, которые представляют интерес для промышленности. Примером являются рассмотренные выше типы месторождений молибдена. По данным Н. А. Хрущова [190], начиная с 1945 г. добыча молибдена из жильных месторождений резко падала, в 1960 г. она составляла 15%, в последующие годы она также снижалась. Большое значение приобретали штокверковые месторождения молибденовых руд, удельный вес которых ежегодно возрастал — с 45% в 1942 г. он поднялся до 80% в 1960 г.

В связи с этим Н. А. Хрущов рекомендует наибольшее внимание при поисках и разведке уделять штокверковым месторождениям кварц-молибденит-серицитовой формации. Из руд этих месторождений даже при относительно низких содержаниях молибдена, но при больших запасах, можно получать концентраты по себестоимости в 2—3 раза ниже, чем из жильных месторождений. Среди жильных месторождений заслуживают внимания только месторождения с ожидаемыми запасами не менее 2—3 тыс. т молибдена и при высоких содержаниях молибдена в жилах (не ниже 0,3—0,5 метро-процента).

Показательны месторождения меди в Центральном Казахстане. Здесь давно уже известны месторождения меди почти всех промышленных типов, но освоение и промышленная эксплуатация их начиналась с тех, которые являются наиболее крупными — с меднопорфировых руд (Коунрад) и медистых песчаников (Джезказган). Значительно позже стали разрабатываться месторождения других промышленных типов и, в частности, скарновые месторождения меди. В данном случае также подтвердилась необходимость

Таблица 3

Промышленные типы месторождений меди (по И. З. Самонову и И. Ф. Пожарискому [163] со значительными сокращениями)

Промышленные типы месторождений	Соотношение запасов меди в промышленных типах, %	
	СССР	Капиталистические и развивающиеся страны
Медистых песчаников	30,3	29,2
Меднопорфировый	13,1	55,3
Медноколчеданный	21,2	8,8
Медно-никелевый	30,6	3,1
Жильный (кварц-сульфидный)	2,0	1,2
Скарновый	2,0	0,6
Самородной меди	—	1,0
Ванадиево-железо-медный	0,8	—
Карбонатитовый		0,8

Таблица 4

Запасы и качество некоторых полезных ископаемых в промышленных месторождениях *

Полезные ископаемые	Промышленные месторождения по величине запасов, т				Содержания полезных компонентов (средние минимальные)
	уникальные	крупные	средние	небольшие	
Угли (бурые и каменные)	10^{11}	10^{10}	10^{9}	10^{8}	Коксующиеся угли, не менее 25—34% летучих
Соли (каменные, калийные)	10^{10}	10^{9}	10^{8}	10^{7}	96,5—99,2% $NaCl$ 12,6% K_2O
Железные руды	10^{10}	10^{9}	10^{8}	10^{7}	25—60% Fe
Алюминий (нефелины, алуниты)	10^{9}	10^{8}	10^{7}	10^{6}	22—28% Al_2O_3
Фосфор (апатиты)					
Алюминий (бокситы)	10^{8}	10^{7}	10^{6}	10^{5}	28—52% Al_2O_3
Известняки для химической промышленности	10^{8}	10^{7}	10^{6}	10^{5}	95—97% $CaCO_3$
Марганцевые руды	10^{8}	10^{7}	10^{6}	10^{5}	35—50% Mn
Хромитовые руды	10^{8}	10^{7}	10^{6}	10^{5}	35—55% Cr_2O_3
Титановые руды	10^{8}	10^{7}	10^{6}	10^{5}	8—10% TiO_2
Титановые россыпи	10^{7}	10^{6}	10^{5}	10^{4}	40—50 кг/м^3 (минералы Ti)
Боровые руды	10^{7}	10^{6}	10^{5}	10^{4}	1,7—13% B_2O_3
Медь, свинец, цинк, никель	10^{7}	10^{6}	10^{5}	10^{4}	0,5—1,0% Me (металл)
Олово, вольфрам, молибден, сурьма, ниобий, флогопит	10^{6}	10^{5}	10^{4}	10^{3}	0,1—0,2% Sn, WO_3 2—10% Sb 0,05—0,5% Mo 0,1—0,5% Nb_2O_5
Уран, ртуть, бериллий, мусковит	10^{5}	10^{4}	10^{3}	10^{2}	0,15% Hg
Кобальт, тантал, серебро, висмут	10^{4}	10^{3}	10^{2}	$n \cdot 10$	0,02—0,1% Be
Золото, платина, пьезокварц	10^{2}	$n \cdot 10$	n	$n \cdot 10^{-1}$	4—5 г/т Au (коренные) 0,2—1,0 г/т Au (россыпи)
Алмазы	n	$n \cdot 10^{-1}$	10^{-2}	10^{-3}	0,05—0,5 до 1,0 карат/т (коренные) 0,01—0,5 карат/м^3 (россыпи)

* По данным В. И. Красникова [92] с дополнениями по нерудному сырью и характеристике промышленных содержаний некоторых полезных ископаемых.

выбора первоочередных объектов с учетом значения промышленных типов месторождений по добыче и общим запасам (табл. 3).

При оценке объектов поисковых работ II стадии наряду с анализом ожидаемых генетических и промышленных типов месторождений следует учитывать ожидаемые величины запасов и качество полезного ископаемого. Для ориентировки в этих параметрах можно использовать данные, приведенные в табл. 4 и отражающие характер требований промышленности для различных видов полезных ископаемых.

Эти данные являются лишь ориентировочными при общей перспективной оценке проявлений и месторождений на стадиях детальных поисков и поисково-оценочных работ. На следующих стадиях предварительной и детальной разведки оценка запасов и качества полезного ископаемого производится на основе специально разработанных кондиций, утверждаемых для каждого конкретного месторождения.

Глава 3

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ, ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ И АНОМАЛИИ КАК СОВРЕМЕННАЯ ОСНОВА ПРОГНОЗА И МЕТОДИКИ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Изучение и оценка объектов поисковых работ должны проводиться по единым принципам, которые можно использовать при прогнозе, поисках и оценке месторождений полезных ископаемых [68].

Такие общие принципы могут быть выработаны на основе давно разрабатываемой геофизиками теории геофизических полей и аномалий и создаваемой геологами теории геологических полей, включающих собственно геологические (структурные и др.) поля, а также минералогические и геохимические поля и аномалии.

Термин «поле» применяется в геологии и в горном деле достаточно давно, но только как удобное описательно-пространственное понятие. Таково «рудное поле» — область с определенными геологическими условиями локализации и нахождения рудных месторождений, «шахтное поле» — область с определенными горно-геологическими факторами, влияющими на возможность ведения здесь эксплуатационных работ с помощью шахт. Реже «поле» употребляется для характеристики распространения определенных минералов («минералогическое поле»), как синоним понятия «ореол». В геохимии этот термин используется в том же смысле для оконтуривания областей распространения отдельных химических элементов («геохимическое поле»).

В разведочной геофизике, методы которой основаны на наблюдении как естественных, так и искусственно вызываемых физических явлений и процессов, рассматриваемые термины применяются особенно широко. При этом «поле» трактуется уже в собственно физико-математическом смысле. Следовательно, подход к пониманию термина «поле» достаточно различен: внешне описательный в одном случае и строго количественный — в другом. Однако, на наш взгляд [8], и с геологических и с геофизических позиций «поле» должно трактоваться одинаково — как единое средство описания и познания геологической среды и процессов, происходящих в ней.

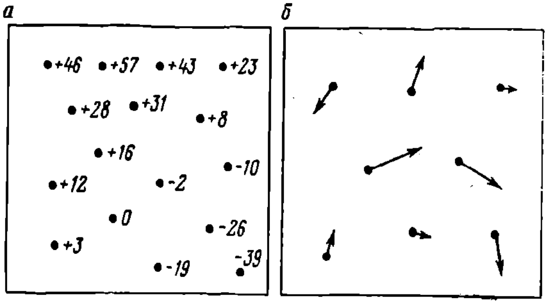


Рис. 3. Схемы скалярного (*а*) и векторного (*б*) полей

Сформулируем само понятие «поле» безотносительно к объекту его применения. Согласно Л. М. Альпину и Р. Фейнману, поле образуется любой величиной П (скалярной или векторной), если в данной области каждой точке отвечает некоторое значение этой величины. Следовательно, п о л е — это ч а с т ь п р о с т р а н с т в а, в пределах которого наблюдается распределение тех или иных параметров или проявление каких-либо векторных величин, в частном случае сил. Соответственно поле является скалярным или векторным (силовым) (рис. 3). Изображение поля возможно следующими способами: аналитическим, посредством таблиц значений величины П, в виде графиков поведения величины П в зависимости от координат точек наблюдения, в виде плоских (двухмерных) и объемных построений — карт изолиний, множеств точек или карт векторов.

Наиболее наглядным можно считать способ изолиний, который предусматривает изображение поля по всем выделенным интервалам скалярных величин. Аномалии на фоне поля могут быть выделены более заметными условными обозначениями.

Существуют способы так называемого сглаживания поля, т. е. выделения основной его части с подавлением несущественных отклонений. Одним из таких способов является построение поверхности тренда, отражающей главную тенденцию поля. Методика

построения поверхности тренда, а также других способов графического анализа геологических и геофизических полей подробно изложена в книге Н. Н. Боровко [22].

В соответствии с приведенной выше формулировкой можно считать, что и «рудное поле», и «минералогическое поле», и «геохимическое поле» по существу являются скалярными полями. Каждое из них очерчивает область распределения определенного геологического признака или образования, создающего специфику данного участка (объема) земной коры. Так, рудное поле представляет собой часть пространства земной коры, в пределах которого размещены рудные месторождения и проявления, связанные общностью условий образования; минералогическое поле и геохимическое поле — часть пространства земной коры, которая характеризуется определенным распределением содержаний минералов или химических элементов. Каждой точке или небольшому пространству отвечают конкретные значения этих величин, а их поля могут быть отнесены к скалярным.

В связи с этим можно расширить геологическое понимание термина «поле» и говорить о таких его формах, как «структурное поле», «тектоническое поле», «поле трещиноватости», объединяемых в группу тектоногенных полей. Можно также выделить группу магматогенных полей как совокупность магматических образований, характеризующихся определенными параметрами. Не менее важны поля гидрогенные, которые для экзогенных условий имеют конкретные параметры, а для эндогенных — параметры, в той или иной степени реконструированные (имеются в виду гидротермальные процессы).

Следует отметить, что среди геологических полей имеются не только скалярные, но и векторные, например поля тектонических напряжений, гидродинамические поля и др.

Перечисленные виды геологических, минералогических, геохимических и геофизических полей представлены в виде схемы (рис. 4), являющейся первым, самым общим приближением к той систематике полей, которая может быть основой прогноза и методики поисков месторождений полезных ископаемых.

На данной схеме выделяются классы (скалярные, векторные), подклассы (геологические, минералогические, геохимические, геофизические), типы (экзогенные, эндогенные) и группы (тектоногенные, литогенные и др.) полей. Термин «реконструкция» обозначает возможность получения определенных параметров поля путем воссоздания условий формирования конкретных геологических образований в прошлые эпохи.

Все сказанное выше в полной мере справедливо в отношении понятия «аномалия», обозначающего участок поля, в пределах которого отмечаются нарушения (отклонения) распределения данного параметра или проявления силы. Если геофизическая аномалия представляет собой нарушение в проявлении геофизического

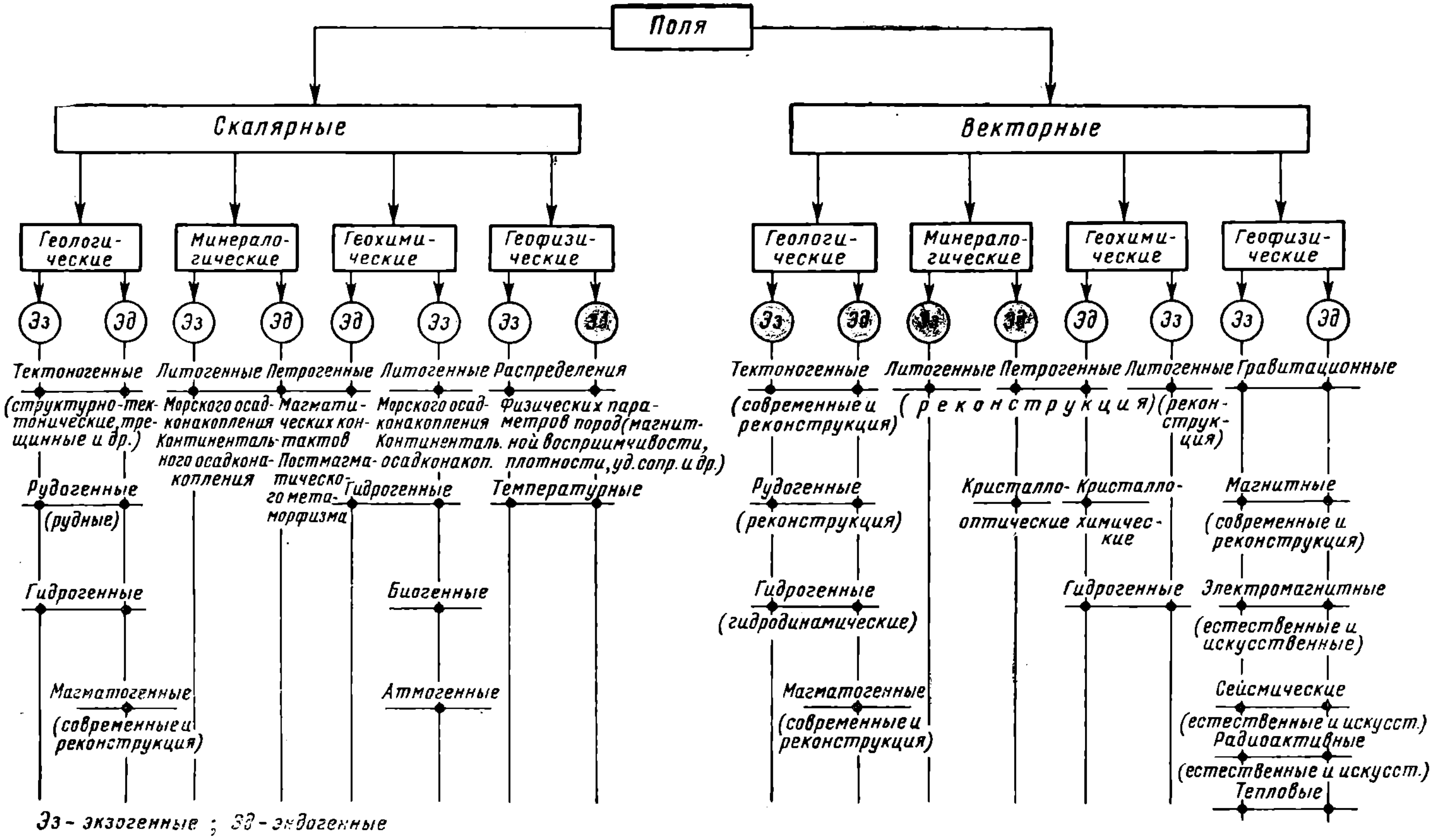


Рис. 4. Классификация геологических, минералогических, геохимических и геофизических полей (составили В. В. Аристов и Л. Л. Ляхов)

поля, то правомерным является понятие о геологической аномалии как отклонении от нормальной геологической обстановки. При этом следует иметь в виду относительность понятия «аномалия». Так, поле любого геологического образования по отношению к полям более крупных объектов фактически проявляется как аномалия. Следовательно, выделение аномалии в большинстве случаев производится относительно фона или среднего уровня общего окружающего поля. Поэтому ее размеры (амплитуда или интенсивность, геометрическая протяженность) зависят от выбора фонового значения поля, особенно при исследовании геохимических полей. При выборе одних величин геохимического фона геохимические аномалии могут быть небольшими или даже не наблюдаться и, наоборот, при выборе другого уровня фона аномалии становятся отчетливыми и значительными по площади. При этом становится очевидной роль методики исследований в обеспечении требуемой точности наблюдений или измерений полей для выявления аномалий.

Отнесение полей тех или иных геологических тел к категории аномальных определяется также задачами исследований. Например, при геологическом картировании вулканогенно-осадочных отложений резкие отклонения магнитного поля, создаваемые линзами основных эффузивов, могут считаться аномальными. Но при постановке поисковых задач по обнаружению среди этих отложений, например, рудоносных гранитов те же основные эффузивы должны рассматриваться как нормальные признаки общего неоднородного поля вмещающих пород, а аномалиями будут являться поля гранитов. Эти аномалии и должны быть главными объектами интерпретации и оценки, но общий анализ полей в целом остается необходимым, так как без него аномалии не могут быть выделены и оценены.

Следовательно, поля могут подразделяться на нормальные $П_н$ и аномальные $П_а$, или совокупные. Последние представляют собой сумму нормального поля и аномалии $\Delta П$ (поля отдельных объектов): $П_а = П_н + \Delta П$. В свою очередь нормальные поля могут подразделяться на однородные и неоднородные в зависимости от характера и степени сложности распределения соответствующих полеобразующих величин.

На I стадии поисковых работ должна проводиться группировка районов по характеру наблюдаемых полей как основы последующего их анализа и выделения аномалий. В первом, самом общем приближении районы геологической съемки и поисков могут быть подразделены на три группы: районы с нормальными однородными полями; районы с нормальными неоднородными полями; районы с аномальными полями.

При типизации аномалий следует учитывать их характер, отчетливость (контрастность) и комплексность. Для целей прогноза и методики поисков месторождений полезных

ископаемых могут быть выделены следующие аномалии: неотчетливые, отчетливые простые, отчетливые сложные, комплексные.

Главные объекты поисков — месторождения полезных ископаемых — представляют собой аномалии, создаваемые в геологических, минералогических, геохимических и геофизических полях непосредственно полезными ископаемыми или структурами, их вмещающими. В зависимости от минерального состава полезного ископаемого и вмещающих пород, а также от характера геологических структур аномалии, создаваемые месторождениями, могут быть отчетливыми или неотчетливыми. В зависимости от глубины залегания месторождений отчетливость аномалий изменяется, что несомненно должно учитываться при прогнозе и поисках конкретных видов полезных ископаемых.

Обобщение опыта поисков по ряду районов СССР и зарубежных стран показывает, что применяемые системы детальных поисков основаны именно на характере аномалий, которые создаются полезными ископаемыми или вмещающими их структурами [9].

В предлагаемой группировке месторождений твердых полезных ископаемых по характеру создаваемых ими первичных геологических, минералогических, геохимических и геофизических аномалий отражены возможности выбора системы поисковых работ (табл. 5).

В данной группировке сделана попытка рассмотреть все основные виды твердых полезных ископаемых, для того чтобы подчеркнуть общий характер создаваемых ими аномалий. В связи с этим в одну группу попадают полезные ископаемые, различные по генезису и геологическому положению, но сходные по характеру аномалий. Месторождения некоторых полезных ископаемых могли быть включены не в одну, а в две группы, однако для упрощения этого не сделано. Более детальные классификации должны быть построены с учетом данного признака.

Для каждой из выделенных групп, несмотря на геологические и генетические различия включенных в них месторождений, применяется общая система поисковых работ. Например, в месторождениях I группы применяются главным образом геологические методы, во II группе — минералогические и геохимические и т. д.

Одной из важных проблем изучения полей и аномалий является сопоставление их по характеру и параметрам с целью повышения эффективности прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых.

В настоящее время в большинстве случаев сопоставление различных подклассов полей (геологических, минералогических, геохимических, геофизических) осуществляется по графическим материалам с оценкой качественных показателей. При этом минералогические, геохимические и геофизические поля и аномалии сопоставляются и интерпретируются по отношению к геологическим

Таблица 5

Поисковая группировка месторождений твердых полезных ископаемых по характеру создаваемых ими первичных аномалий

Группа	Общая характеристика	Полезные ископаемые	Применяемые системы поисковых работ	
			главный комплекс методов	вспомогательный комплекс методов
I	Месторождения, создающие отчетливые геологические и неотчетливые минералогические, геохимические и геофизические аномалии	Пьезокварц, слюда, графит, магнезит, угли, огнеупоры, керамическое сырье, стройматериалы	Геологические, горно-буровые	Минералогические, геохимические, геофизические
II	Месторождения, создающие отчетливые геологические, минералогические и геохимические аномалии	Россыпи золота, касситерита, алмазов, минералов титана; лимонитовые и сидеритовые руды, марганцевые руды, силикатные руды никеля, фосфориты, сера, соли, флюорит, асбест, тальк, корунд; руды свинца, цинка, меди, сурьмы, ртути в низкотемпературных эндогенных месторождениях	Геологические, минералогические, геохимические, горно-буровые	Геофизические
III	Месторождения, создающие отчетливые геологические и геофизические простые аномалии	Магнетитовые руды, хромиты, уран, бор, барит, каменные угли и угленосные структуры	Геологические, один из геофизических методов, горно-буровые	Геофизические, геохимические, минералогические
IV	Месторождения, создающие отчетливые геологические и геофизические сложные аномалии	Богатые железные руды типа КМА, бокситы	Геологические, комплекс геофизических, горно-буровые	Минералогические, геохимические
V	Месторождения, создающие отчетливые комплексные геологические, минералогические, геохимические и геофизические аномалии	Погребенные аллювиальные россыпи (золота, касситерита); руды никеля, меди, свинца, цинка, олова, вольфрама, молибдена, бериллия, ниобия, тантала, редких земель в эндогенных месторождениях	Геологические, минералогические, геохимические, геофизические	—

полям, которые позволяют решать вопросы происхождения полей и связи их с полезными ископаемыми.

Этот путь является наиболее простым, хотя и требует дальнейшего усовершенствования. Однако в нем отсутствует количественная оценка сопоставляемых параметров различных полей. Такая оценка обычно проводится внутри каждого подкласса полей. Например, сопоставляются поля геофизического подкласса (магнитные и гравитационные) или геохимические поля (поля отдельных элементов).

Вместе с тем постоянно требуются сопоставление и количественная оценка различных подклассов полей: геофизических и геохимических, геохимических и минералогических, геофизических и структурных и т. п. Для этого необходим единый принцип, простой в исполнении и надежный в интерпретации. Один из подобных принципов предложен В. Ф. Мягковым [112] в виде *геометрического способа корреляции физических полей*, при котором считается, что «...коэффициент корреляции может быть выражен через функцию угла между градиентами сопряженных полей...».

Сопоставление скалярных полей, представленных графически системой изолиний коррелируемых свойств, производят следующим образом.

На картах изолиний сопоставляемых полей (например, геофизических и геохимических) разбивают квадратную сеть, которая должна равномерно и плотно покрывать всю площадь. Карты для удобства дальнейшего сопоставления вычерчивают на кальке. В узлах квадратной сети отстраивают векторы проекций градиентов поля в виде перпендикуляров к изолиниям, направленных в сторону возрастания функции. Карты накладывают друг на друга и измеряют угол между векторами двух сопоставляемых полей в каждой точке узла сети.

Определяют косинусы измеренных углов. Среднее значение косинуса для всего поля, определяемое как среднее арифметическое косинусов всех углов, равно *коэффициенту корреляции* сопоставляемых полей. Этот параметр и может быть использован для сопоставления различных полей между собой.

В. Ф. Мягков и А. С. Работкин [113] поясняют это на примере сопоставления геохимических и геофизических полей для определения эффективности их использования для поисков меднопорфировых месторождений. Ими сопоставлялись литогеохимические поля меди и молибдена, а также геофизические поля ВП (вызванной поляризации) и ЕП (естественного поля), изученные на одном из меднопорфировых месторождений (рис. 5).

Конечные результаты расчетов для исследованного объекта приведены в табл. 6.

Анализ приведенных в табл. 6 данных позволил этим авторам сделать следующие выводы: геохимические поля меди и молибдена хорошо согласуются между собой; поле ВП коррелируется с геохимическими полями со знаком плюс, а поле ЕП — со знаком

минус. Также со знаком минус коррелируются поля ВП и ЕП. Метод ВП более надежно выявляет аномалию в содержании меди, чем метод ЕП. Относительно молибдена оба метода характеризуются практически одинаковой разрешающей способностью. На основе этого авторы пришли к заключению, что в условиях рассмотренного объекта применение методов ВП и ЕП не менее эффективно, чем использование геохимических методов. В совокупности все эти методы обнаруживают некоторую избирательную чувствительность к меди и молибдену, что позволяет уже на стадии поисков расклассифицировать аномалии по металлогенической специализации первичных руд.

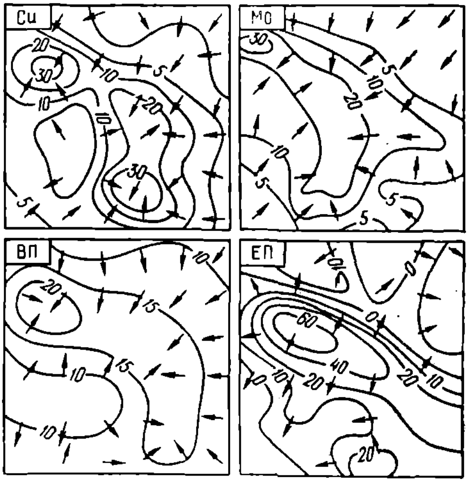


Рис. 5. Схемы сопоставления геохимических и геофизических полей на площади одного из меднопорфировых месторождений (по В. Ф. Мягкову и А. С. Работкину).

Геохимические поля: Cu ($n \cdot 10^{-2}$%), Mo ($n \cdot 10^{-4}$%); геоэлектрическое поле вызванной поляризации (в %) — ВП, естественное геоэлектрическое поле — ЕП. Стрелками обозначены единичные проекции градиентов полей на плоскость

Приведенный пример показывает только некоторые возможности количественной оценки сопоставляемых полей. Не менее важным, по-видимому, будет использование рассмотренного принципа для построения карт прогноза и выбора перспективных участков, где рекомендуется постановка первоочередных поисковых работ.

В целом дальнейшая разработка теории геологических и геофизических полей и аномалий должна вестись, с одной стороны, в направлении развития их теории и практики применения, а с другой — в разработке и использовании принципов сопоста-

Таблица 6

Коэффициенты корреляции сопоставляемых геохимических и геофизических полей

Коррелируемое свойство	Cu—Mo	Cu—ВП	Cu—ЕП	Mo—ВП	Mo—ЕП	ВП—ЕП
Средние значения косинусов углов	+0,56	+0,671	—0,32	+0,56	+0,50	—0,45

вления различных полей, что в совокупности обеспечит повышение эффективности поисков месторождений полезных ископаемых. При этом могут использоваться специальные программы для ЭВМ с целью сопоставления параметров геологических и геофизических полей, включающих объекты известные и прогнозируемые.

Глава 4

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ПРОГНОЗА И МЕТОДИКИ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С ПОЗИЦИИ АНАЛИЗА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ И АНОМАЛИЙ

В развитии прогноза и методики поисков полезных ископаемых с позиции анализа геологических и геофизических полей и аномалий намечается несколько периодов. Общим в особенностях этого развития является то, что вначале для поисков использовались прогнозы, основанные на простых и макроскопически видимых аномалиях (минералогических и геологических), относящихся к аномалиям скалярного типа. Позже наряду с ними стали разрабатываться сложные прогнозы, требующие использования невидимых простым глазом аномалий как скалярных (например, геохимических), так и векторных (геофизических и ядернофизических).

Первый период — доисторическое время — характеризуется поисками полезных ископаемых по минералогическим, хорошо различимым глазом аномалиям: ореолам рассеяния валунов и обломков полезных ископаемых, известных в то время. Методы поисков — минералогические, искусство которых передавалось из поколения в поколение. К началу нашей эры относятся сведения о применении биофизического метода поисков (лозоискательство), основанного на использовании очень сложных аномалий биофизического типа, познание которых по существу только начинается в наше время. Этот метод вызывал в тот период и в последующие периоды весьма разноречивые толкования в отношении причинных связей и возможностей его использования для целей поисков полезных ископаемых.

Второй период охватывает I—XVIII вв. н. э. В это время продолжают совершенствоваться минералогические методы поисков, среди которых особое значение приобретает шлиховой метод, основанный на специальной обработке (промывке) проб рыхлого материала. Шлиховым методом выявлялись минералогические аномалии, неразличимые простым глазом, т. е. процесс поисков усложнялся. Вместе с тем сохраняли значение простейшие минералогические аномалии, различимые макроскопически. В первых известных классификациях полезных ископаемых, имеющих поисковое значение, в основу принимались макроскопические

признаки минеральных тел, или камней. Так, например, Авиценна (Абу Али Ибн Сина, X—XI вв.) выделял: камни, плавкие тела (металлы), серные (горючие) тела и соли. Созданное в 1584 г. в России первое «геологическое» учреждение называлось «Каменный приказ». Рудознатцы при поисках ориентировались на опыт выявления известных камней и их скоплений (аномалий), иногда точно не представляя, что в этих камнях содержится. Поэтому и названия незнакомым камням давались по макроскопическим признакам [118]. Например, «...камень голуб со звездами...» (вероятно габброиды с сульфидами). «...он же Алешка, сыскал выше того на сторонней речке медную руду и на опыт к Москве привез, да и иные руды для опыту он к Москве с собой привез же, а какие руды того он не знает, что в Сибири мастеров нет, а взяты те руды из розных гор по розным рекам, а иные де горы и не копаны...».

В одном из первых обобщений, посвященных поискам руд, М. В. Ломоносов [103] сформулировал сущность так называемого обломочно-речного или руслового метода поисков, основанного на выявлении и оконтуривании минералогических аномалий: «Надлежит примечать, что ежели тех камней углы остры и не обились, то можно заключить, что и сами жилы неподалеку, а напротив того буде углы их тупы и обились, то жилы от того места, откуда их занесло, отстоят далече».

Наряду с минералогическими аномалиями начинают использоваться наиболее простые и отчетливые геофизические аномалии — магнитные. Эти аномалии обнаруживаются не специальными приборами, а предметами обихода, которые притягиваются к магнитным рудам. Подобную магнитную аномалию обнаружили в конце XVII в. в Верхотурье на Урале «эксперты» в составе четырех кузнецов и рудоплавщиков и восьми крестьян. В донесении того времени сообщалось, что они нашли на одной горе «...пуповину чистого магнита в вышину полторы сажени, а круг той пуповины десять сажень...» [118].

В 1783 г. русским астрономом П. Б. Иноходцевым по резкому отклонению магнитной стрелки компаса было сделано первое открытие магнитных аномалий в средней части Европейской России, которые в дальнейшем были названы Курской Магнитной Аномалией. И хотя только через 140 лет на КМА были открыты железные руды, с конца XVIII в. геофизические (в данном случае магнитные) аномалии привлекли внимание как возможные объекты поисков полезных ископаемых. К концу XVIII в. отмечаются первые попытки использования геологических полей для обоснования поисков полезных ископаемых. Так, на первой геологической карте Восточного Забайкалья, составленной в масштабе 1 : 200 000 унтершихмейстерами Дорофеем Лебедевым и Михаилом Ивановым в 1789—1794 гг., помимо полей распространения различных горных пород (гранита, известкового камня, шифера, песчаного камня, дикокаменной брекчии), особыми знаками отме-

чены порфиры, медные и серебро-свинцовые рудники, ключи и соляные озера. Как отмечает Е. А. Пресняков, обнаруживший эту карту, большое значение геогностической карты Иванова и Лебедева определяется тем, что в ней ясно чувствуется понимание влияния состава окружающих различных «слоев» на размещение полезных ископаемых.

Третий период — XIX в. — характеризуется началом специального геологического обследования отдельных районов, а затем и их геологического картирования. Постепенно создавалась научная основа поисков — составление геологических карт.

Геологическая карта, наиболее полно отражающая геологические поля и аномалии, позволяла разрабатывать прогнозы месторождений полезных ископаемых, не только выходящих на поверхность, но и скрытых. Не случайно поэтому именно в XIX в., как отмечает В. В. Тихомиров [181], появились такие прогнозы: «Примером верного геологического прогноза является высказанное Евг. П. Ковалевским предположение о возможной соленосности Бахмутского района. Отметив обнажающуюся здесь «гипсовую формацию» и покрывающую ее свиту «затверделой глины», он указал, что «...на сии места должно быть обращено внимание того, кто захотел бы в здешнем краю отыскивать каменную соль». Он оказался прав — многими десятилетиями позже А. П. Карпинский сумел точно наметить место расположения скрытой на глубине соляной залежи, где было найдено огромное месторождение каменной соли...».

В этой работе В. В. Тихомирова отмечено также, что А. Б. Иваницким было высказано предположение, о продолжении мощных угольных залежей Донецкого бассейна под юрскими и другими, более молодыми образованиями. «...Этот важный прогноз был подтвержден бурением, проведенным Л. Ф. Фелькнером (1852 г.), отметившим в своем отчете, что в Лисичанском районе угленосная толща, как и предполагал А. Б. Иваницкий, залегает непосредственно под меловыми известняками. Опираясь на полученные результаты, Л. Ф. Фелькнер рекомендовал искать крупные залежи угля на глубине, под покровом молодых отложений. Таким образом, первое высказывание о возможности расширения уже известной угленосной площади, вылившееся впоследствии в идею «Большого Донбасса» (П. И. Степанов), было сделано еще 100 лет тому назад...» [181].

В упомянутом выше исследовании А. П. Карпинского, обосновавшего место заложения первой скважины на соль в Бахмутской котловине, использовались не только тщательно разработанный геологический прогноз, но и сведения о геохимических, а точнее — гидрогеохимических аномалиях, контуры которых вырисовывались по расположению соляных источников и озер в данном районе. Таким образом, здесь применялись элементы геохимического прогноза, развитие которого начало осуществляться значительно позже, во второй половине XX в.

В целом к концу XIX в. продолжали совершенствоваться минералогические и геологические методы поисков, основанные на выявлении и оконтуривании минералогических, геологических и реже геохимических аномалий, с которыми связаны полезные ископаемые. Главным геологическим методом становится геологическая съемка. Геофизические методы еще не получили развития, так как единственный известный в то время метод магнитометрии не был проверен на практике обнаружения скрытых месторождений железных руд на участках магнитных аномалий. Все другие геофизические и геохимические методы появились позже, после соответствующих технических открытий.

Четвертый период — начало XX в. — не принес в России новых достижений в области разработки прогноза и методики поисков полезных ископаемых. Продолжали использоваться геологические и минералогические методы. Но их развитие тормозилось в связи с общими политическими и экономическими условиями царской России.

Пятый период — после Великой Октябрьской социалистической революции — резко изменил направления и тенденции развития поисков месторождений полезных ископаемых. По мере того как страна наращивала индустриальную мощь, начали появляться и развиваться более сложные методы поисков, с помощью которых стало возможно выявлять невидимые простым глазом аномалии — геохимические и геофизические. Для этого потребовалось создание специальной аппаратуры и приборов, которые позволяли фиксировать параметры не только скалярных, но и векторных полей и аномалий. Постепенно разрабатывались новые методы поисков, основанные на использовании внутренних свойств атомов химических элементов, — ядерно-физические. Получили широкое развитие также аэрометоды, существенно дополняющие наземные методы исследованиями. Аэрометоды в целом значительно расширили возможности картирования геоморфологических, геологических и геофизических полей и аномалий. Соответственно развивалась теория прогноза полезных ископаемых, особенно интенсивно в связи с необходимостью поисков скрытых месторождений. Учение о поисковых предпосылках и признаках стало дополняться элементами теории полей и аномалий. Вначале это касалось в основном геофизических аномалий, затем — минералогических и геохимических (ореолов рассеяния). В дальнейшем стал выполняться анализ геофизических и геохимических полей, особенности характера которых, с одной стороны, позволяли разрабатывать прогноз на более широких, нежели при анализе аномалий, площадях, а с другой — увеличивать глубинность прогноза.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПОИСКОВЫХ РАБОТ

В существующих классификациях месторождений полезных ископаемых для поисковых целей в основу положены промышленные и генетические типы месторождений или тектонические условия их локализации. Первая группировка промышленных месторождений была дана В. М. Крейтером в 1940 г., а затем дополнена в 1960, 1968 и 1969 гг.

В. И. Смирнов (1954, 1957 гг.) разработал систематику рудных месторождений для поисковых целей, в которой выделил: по генетическому признаку — магматические месторождения, постмагматические, осадочные, метаморфические, коры выветривания, россыпи; по геологическому положению — районы развития ультраосновных пород, основных пород, кислых пород, эффузивов.

Н. И. Сафроновым [164] предложена поисковая классификация месторождений цветных и редких металлов. В. М. Крейтером, Д. И. Горжевским, В. Н. Козеренко [96] на основе ранее предложенной В. М. Крейтером [94] типизации благоприятных геологических (генетических) обстановок при образовании промышленных месторождений разработана группировка благоприятных обстановок для поисков промышленных месторождений полезных ископаемых. В этой группировке выделены: благоприятные геологические обстановки в условиях платформ, в условиях геосинклинальных систем, в условиях глыбовых зон, благоприятные обстановки, связанные с ландшафтно-климатическими факторами.

Во всех указанных классификациях обращено внимание на генетические и промышленные типы месторождений, а также на общие тектонические условия их образования и локализации. Эти параметры безусловно очень важны, но теперь уже недостаточны для обоснования прогноза и поисков, особенно скрытых месторождений.

В предлагаемой нами классификации объектов поисковых работ кроме этих факторов в качестве равноправных приняты: степень обнаженности районов и ожидаемых месторождений, характер изучаемой части разреза, характер геологических и геофизических полей и аномалий. Кроме того, в ней учтены стадии поисковых работ.

Классификация построена в виде таблицы, состоящей из двух разделов (рис. 6): слева — текстовое пояснение, справа — графическое изображение, что дает возможность представить все многообразие объектов, сложность их прогноза и методики поисков.

Объекты первой стадии поисковых работ (районы) по возможному геологическому положению и особенностям классифицируются следующим образом. По тектоническому положению, отраженному на существующих тектонических картах, выделяются классы районов: на древних платформах (I); на палеозойских

платформах (II); в краевых и внутренних прогибах платформ (III); в складчатых зонах (IV); во впадинах складчатых зон (V); в океанических впадинах (VI). По степени обнаженности выде-

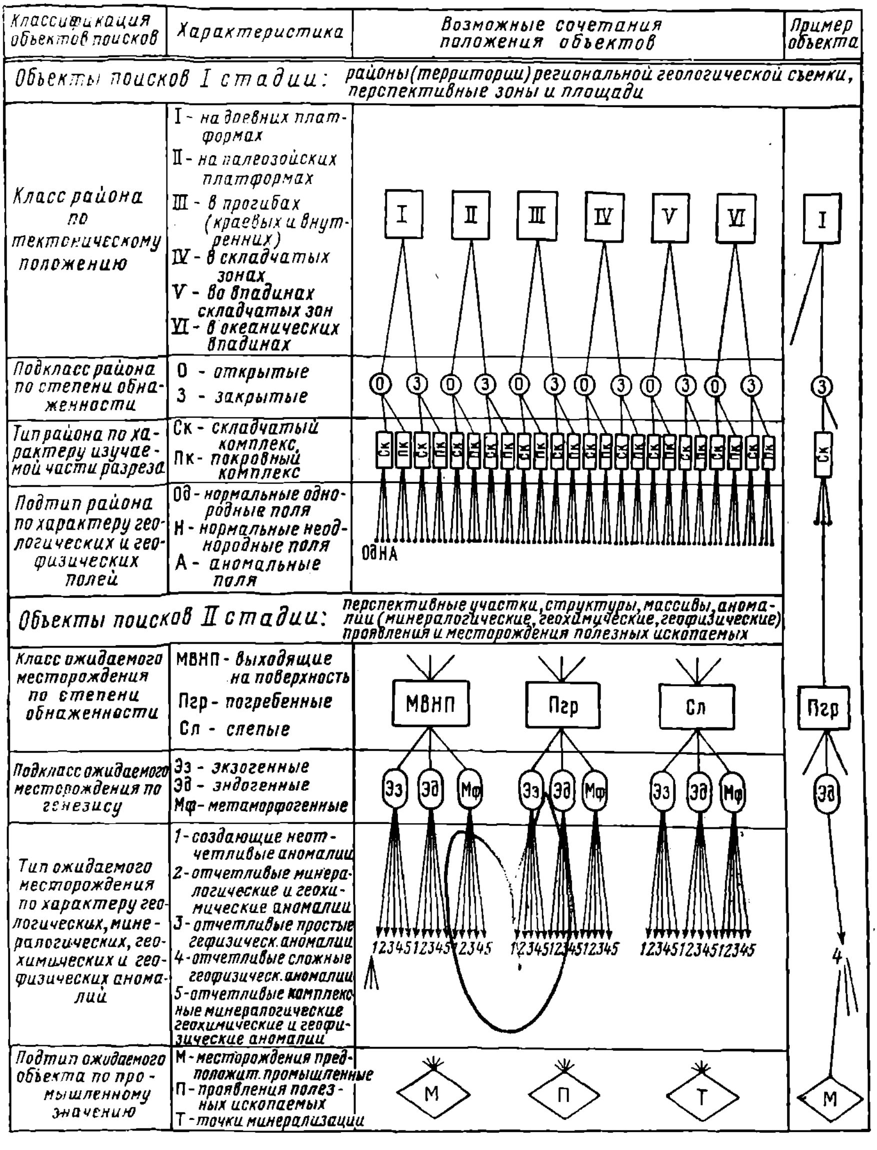


Рис. 6. Классификация объектов поисковых работ

ляются подклассы районов: открытые (0) и закрытые (З). При этом закрытым районом считается любая крупная (по размеру соответствующая планшету масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000) площадь,

в пределах которой невозможно выполнить геологическое картирование и произвести поисковую оценку поверхностными методами [145]. По характеру изучаемой части разреза выделяются два типа районов: в первом типе главным объектом геологического и поискового изучения является складчатый комплекс (Ск), во втором — покровный комплекс (Пк), включающий осадочные и вулканогенные образования чехла платформ, впадин, прогибов, а также четвертичные рыхлые отложения. При детализации данного раздела классификации четвертичные отложения должны быть выделены в самостоятельный комплекс, как это рекомендуется в «Основных положениях по геологической съемке» [126]. По характеру геологических (включающих собственно геологические, минералогические и геохимические поля) и геофизических полей выделяются три подтипа районов с нормальными однородными полями (Од); с нормальными неоднородными полями (Н) и с аномальными полями (А).

Объекты поисковых работ второй стадии (перспективные участки, проявления полезных ископаемых, аномалии различного типа) классифицируются по характеру ожидаемого месторождения, которое может быть выявлено на перспективном участке, структуре, массиве, аномалии или проявлении полезного ископаемого. По степени обнаженности выделяются три класса ожидаемых месторождений: выходящие на поверхность (МВНП), погребенные (Пгр) и слепые (Сл). По генезису ожидаемые месторождения делятся на три подкласса: экзогенные (Эз), эндогенные (Эд) и метаморфогенные (Мф).

Внутри этих крупных генетических единиц при детализации классификации должны быть выделены: в подклассе экзогенных месторождений — месторождения коры выветривания и осадочные; в подклассе эндогенных месторождений — магматические и постмагматические (генетически связанные с интрузиями, парагенетически связанные с интрузиями или эффузиями, не имеющие генетической или парагенетической связи с магматическими образованиями); в подклассе метаморфогенных — метаморфогенные и метаморфические.

По характеру геологических и геофизических аномалий, создаваемых месторождениями полезных ископаемых или структурами, их вмещающими, они подразделяются на пять типов: месторождения, создающие неотчетливые аномалии (1); месторождения, создающие отчетливые минералогические или геохимические аномалии (2); месторождения, создающие отчетливые простые геофизические аномалии (3); месторождения, создающие отчетливые сложные геофизические аномалии (4); месторождения, создающие отчетливые комплексные минералогические, геохимические и геофизические аномалии (5).

По промышленному значению, о котором можно судить предварительно по данным поисково-оценочных (поисково-разведочных) работ, ожидаемые объекты классифицируются на:

месторождения предположительно промышленные, заслуживающие передачи в предварительную разведку (М); проявления полезных ископаемых (П) и точки минерализации (Т).

Рассматриваемая классификация поисковых работ относится к классификации перечисления. Общая база классификации, отражающая число возможных сочетаний (вариантов) геологического положения и характера объектов поисковых работ, составляет 9720 (6·2·2·3·3·3·5·3) — произведение чисел выделенных классов, подклассов, типов и подтипов объектов. С таким большим количеством различных вариантов или сочетаний объектов поисков могут иметь дело работники планирующих и руководящих геологических органов, а также студенты геологоразведочных вузов и факультетов, изучающие курс «Поиски месторождений полезных ископаемых». Для геологосъемочных экспедиций и партий количество возможных вариантов резко сокращается и ограничивается несколькими вариантами, как это показано в примере (см. рис. 6). Но в этом примере рассмотрены две стадии поисковых работ. Если же экспедиция или партия проводит предварительные поиски, сопровождающие региональную геологическую съемку, то количество возможных вариантов будет еще меньше (4), и объект поисков (территория, район) получает общую характеристику по тектоническому положению, степени обнаженности, характеру разреза и характеру геологического и геофизического полей. То же относится и к стадии детальных поисков и поисково-оценочных (поисково-разведочных) работ, для которой количество возможных вариантов геологического положения и характера объекта сравнительно невелико.

Обратим еще раз внимание на пример, приведенный на рис. 6. Пусть конечным объектом прогноза и поисков являются магматические месторождения меди и никеля, залегающие в кристаллическом фундаменте древней платформы, погребенном под осадочным чехлом. Подобные месторождения могут создавать сложные геофизические аномалии, отчетливость которых снижена перекрывающими породами чехла. Ориентируясь на эти условия, можно разрабатывать прогноз и методику поисковых работ. Ведущее значение здесь должны иметь методы геофизические и глубокое бурение. Для предварительной оценки объектов важными будут минералого-геохимические методы.

На основе этих общих данных можно составить *геологическое задание* на объект поисковых работ по форме, приведенной на стр. 37.

При составлении геологического задания на конкретный объект поисков в некоторых случаях большое значение приобретает вопрос о генезисе ожидаемого месторождения. Используя графический раздел классификации (см. рис. 6), возможно представить различные варианты прогноза и методики поисков месторождений одного и того же промышленного типа, для которого предполагаются разные генетические гипотезы. Например, для месторожде-

Министерство (Управление геологии союзной республики) ____________

Объединение, управление, трест ____

____

Экспедиция ______________________

Партия __________________________

Утверждаю:

____
(руководитель организации)

«__» ______________ 19__ г.

Раздел плана ______________________

Полезное ископаемое ______________

Наименование объекта ____________

Местонахождение объекта __________

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

на ____
(наименование работ, на которые выдано задание)

Обоснование выдачи геологического задания ______________________

____
(наименование и дата документа)

1. Целевое назначение работ: пространственные границы объекта; основные оценочные параметры ____

____

2. Геологические задачи, последовательность и основные методы их решения: ____

____

____

3. Ожидаемые результаты и сроки выполнения работ (с указанием форм отчетной документации) ______________________________________

____

Главный геолог ______________

ний медистых песчаников существуют как минимум три генетические гипотезы: эндогенная, экзогенная и метаморфогенная.

Предположим, что в районе прогнозируются месторождения медистых песчаников: выходящие на поверхность, погребенные и слепые. Тогда приходится рассматривать не менее трех ветвей возможных вариантов (сочетаний) геологического положения и особенностей данных объектов. Каждый вариант требует разработки отдельного прогноза и особой методики поисков. Эта задача

сложная и решать ее практически трудно. В связи с этим приходится на основе современных данных геологической науки принимать наиболее достоверную гипотезу и соответствующий ей вариант прогноза и методики поисков.

Предложенная классификация, как уже отмечалось, относится к так называемым классификациям перечисления, которые позволяют представить общее положение объектов. В будущем не исключена возможность разработки и диагностической классификации объектов поисков с точки зрения их предварительной оценки для решения вопроса о передаче в предварительную разведку.

РАЗДЕЛ II

ПРОГНОЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Глава 1

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Прогноз — слово греческое, означающее предвидение или предсказание изменений в развитии и исходе событий (явлений, процессов) на основании полученных данных.

Прогноз месторождений полезных ископаемых — предсказание возможного открытия месторождений или проявлений полезных ископаемых, разработанное на основе анализа комплекса геологических, минералого-геохимических и геофизических данных.

В современных условиях, когда дальнейшее расширение сырьевой базы в значительной степени определяется выявлением и освоением скрытых месторождений, прогноз полезных ископаемых приобретает первостепенное значение на всех стадиях геологоразведочных работ и прежде всего на стадиях поисков месторождений полезных ископаемых. В последние годы этой проблеме были посвящены специальные совещания [125], монографии [162, 141, 114 и др.] и статьи [54 и др.].

Прогноз полезных ископаемых является одной из разновидностей так называемого вероятностного прогноза. Он производится путем сопоставления анализируемых данных и выбора среди них сочетания наиболее вероятных оптимальных вариантов, при которых возможно ожидать наличие полезных ископаемых. Главными направлениями в прогнозировании полезных ископаемых являются геологическое и математическое.

Геологическое направление в прогнозировании полезных ископаемых основывается на широком и всестороннем использовании геологических данных во всем многообразии их сходства, различия и противоречий. Это направление вырабатывалось вместе с развитием геологической теории и практики. В начальные периоды для прогноза использовались собственно геологические данные (тектонические, стратиграфические, литологические и др.). В дальнейшем, наряду с геологическими, для прогноза полезных ископаемых стали привлекаться геохимические, геофизические, геоморфологические сведения. В целом процесс прогнозирования предусматривает сопоставление и анализ многочисленных наблюдений в пределах определенной

площади, где выполняются геологические и поисковые исследования. Все эти материалы наносятся на карты, разрезы, колонки, графики, отражающие пространственное распределение фактических данных. Они позволяют интерпретировать геологические, минералогические, геохимические и геофизические поля и аномалии. При этом определяются типы геологических образований, вычисляются средние и аномальные показатели, выполняется интерполяция контуров распределения определенных данных между пунктами наблюдений и экстраполяции за их пределами. Затем производится сопоставление всех полученных материалов и на их основе выделение перспективных зон и площадей для постановки поисковых работ с целью обнаружения месторождений полезных ископаемых. В целом геологическое направление прогнозирования основано на обработке огромного количества фактических данных и выборе наиболее вероятного варианта предсказания наличия месторождений полезных ископаемых.

В связи с этим трудно согласиться с мнением некоторых геологов математического уклона или математиков геологического уклона, которые считают, что обычные геологические методы — чисто интуитивны и не могут обеспечить объективного решения вопросов прогноза полезных ископаемых. При этом забывается очень важное обстоятельство, заключающееся в том, что геолог в своей работе, и особенно при разработке прогнозов, использует прежде всего статистические методы анализа: набор определенного количества наблюдений, использование метода изолиний и др. Кроме того, геологом привлекаются минералогические, геохимические и геофизические материалы, составленные также по принципам математической статистики. Графическая форма изображения полученных данных помогает более наглядному восприятию и анализу материалов с целью разработки прогноза полезных ископаемых.

Геологическое направление в прогнозировании полезных ископаемых позволяет решать следующие основные задачи.

— Прогноз перспективных зон, площадей, участков в конкретном районе, где ведутся геологосъемочные и поисковые работы.

— Оценка перспектив геологических структур для прогноза и поисков промышленных месторождений.

— Прогноз запасов полезных ископаемых определенных типов месторождений в данном районе.

— Прогноз новых для данной территории типов промышленных месторождений, имеющих большое значение в мировой практике или в стране.

— Прогноз потенциальных ресурсов скрытых месторождений в данном регионе, рудном поле или скрытых тел полезных ископаемых на месторождении.

— Прогноз продолжения известных месторождений на флангах и на глубину.

При решении этих задач кроме обобщения и анализа фактического материала выясняются вопросы о возможном генезисе и возрасте прогнозируемых объектов.

Математическое направление в прогнозировании полезных ископаемых в той или иной степени сосредоточивает внимание на решении тех же задач, которые были только что перечислены. Но это направление, в отличие от геологического, во-первых, может осуществляться только на этапе камеральных работ, а во-вторых, в основу его кладется обязательная формализация исходных данных. При этом отдельные геологические, минералогические, геохимические признаки заменяются символами или индексами, которые возможно обрабатывать математическими методами, в том числе и с применением электронно-вычислительных машин (ЭВМ).

Поскольку математическое направление в прогнозировании полезных ископаемых является новым, остановимся на его характеристике более подробно.

Решение задач может осуществляться простыми или сложными математическими методами. К относительно простым могут быть отнесены пространственные методы с графическим завершением, к сложным — непространственные аналитические методы.

В качестве примеров относительно простых методов математической подготовки материалов для прогнозирования полезных ископаемых можно привести метод определения показателя сложности геологического строения и метод статистической обработки результатов дешифрирования аэрофотоснимков.

В первом методе, предложенном В. В. Богацким и Б. И. Сугановым [18], показатель сложности геологического строения района определяется путем суммирования общего количества основных элементов геологического строения на карте: литологических разностей пород, возрастных подразделений, тектонических нарушений, геофизических и других типов аномалий и т. п., приходящихся на площадь, принятую в качестве элементарной единицы исследования. В работе В. Н. Землянова [66] этот метод использовался для прогноза месторождений сурьмы и ртути в Шинг-Магианском районе. За единицу площади избран квадрат со стороной 0,5 км. Для прогноза месторождений была вычислена условная вероятность наличия месторождений по формуле

$$P(AB)=\frac{N(AB)}{N(B)},$$

где N — общее количество клеток, на которое разбита данная площадь; $N(B)$ — количество клеток с показателем сложности геологического строения, заключенного в определенных пределах; $N(AB)$ — число месторождений, расположенных на площади с таким же показателем сложности геологического строения (табл. 7).

Таблица 7

Результаты вычисления условий вероятности и сложности геологического строения (интервал значений равен 5)

Показатель сложности геологического строения	Вероятность наличия месторождений $P(AB)$
0—5	0
6—10	0
11—15	0,025
16—20	0,091
21—25	0,239
26—30	0,286
31—35	0,400

Последовательность выполнения отдельных операций при осуществлении рассматриваемого метода:

— геологическая карта расчерчивается на кальке сетью квадратов со стороной 0,5 км (в данном примере, а вообще число квадратов должно быть достаточно большим — порядка 50—100);

— в каждом квадрате подсчитывается показатель сложности геологического строения;

— вычисляется вероятность наличия месторождений и значения ее проставляются в каждом квадрате;

— составляется схема условной вероятности наличия месторождений в изолиниях с определенными интервалами значений. В данном примере принята такая градация $P(AB)$: 0—0,1; 0,1—0,2; 0,2—0,3; 0,3—0,4; более 0,4 (рис. 7).

Из анализа данной схемы В. Н. Землянов делает следующие выводы: большинство известных месторождений локализуется на площадях с $P > 0,2$; месторождений нет на площадях с $P = 0$; к перспективным участкам для обнаружения месторождений могут быть отнесены участки с $P = 0,1 - 0,2$.

Второй метод — статистической обработки результатов дешифрирования аэрофотоснимков — предлагается М. З. Глуховским и В. С. Когеном [49] для прогноза коренных и россыпных месторождений золота на примере одной из золотоносных площадей Станового хребта. Сущность методики: на фотоплан наносится квадратная сетка с достаточно большим количеством квадратов (в данном случае 100); подсчитывается количество отдешифрированных разрывных нарушений; составляется схема плотности разрывных нарушений в изолиниях. На этой схеме плотность разрывных нарушений вычисляется на 1 км²: менее трех, от трех до четырех, от четырех до шести, более шести до десяти. На эту же схему должны быть нанесены все данные о проявлениях золота или их признаках. Сопоставление аномалий разрывных нарушений с участками концентрации проявлений золота (в данном случае — кварцевые жилы, приуроченные к раз-

рывным нарушениям) позволяет прогнозировать новые перспективные участки для поисков месторождений золота.

Более сложные математические методы прогноза месторождений полезных ископаемых относятся к группе непространственных аналитических методов. Они основаны на применении дискретной математики, которая анализирует функции прерывистого характера [59 и др.].

Рассмотрим использование этих методов на примере количественной оценки информативности поисковых предпосылок и признаков эндогенного оловянного оруденения Фурманского района

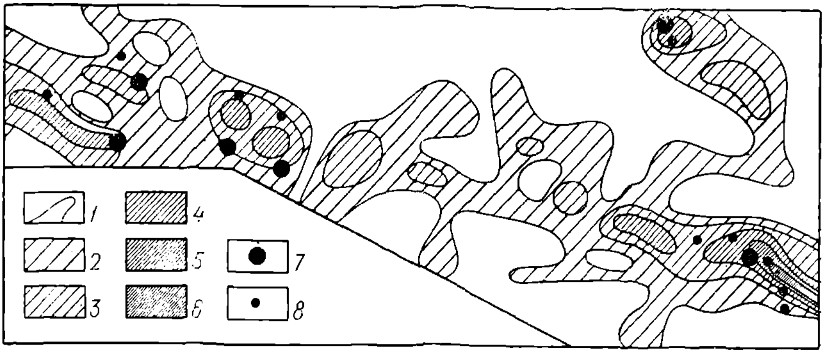


Рис. 7. Схема условной вероятности наличия месторождений (по В. Н. Землянову).

1 — изолинии $P(AB)$; 2 — 0—0,1; 3 — 0,1—0,2; 4 — 0,2—0,3; 5 — 0,3—0,4; 6 — более 0,4; 7 — промышленные месторождения; 8 — непромышленные месторождения

Сихотэ-Алиня по материалам статьи Ю. Г. Иванова и Г. С. Коногорова [72].

Вначале для обучения ЭВМ намечается группа заведомо промышленных месторождений (A_1) и непромышленных рудопроявлений (A_2); количество тех и других должно быть равным. Затем намечаются поисковые предпосылки и признаки (геологические, геохимические, геофизические), которые определяют положение и характер рассматриваемых объектов. Составляется таблица наличия или отсутствия предпосылок и признаков, в которой наличие отмечается единицей, отсутствие — нулем (табл. 8).

Подсчитывается общее количество единиц ($M_x = 1$) и нулей ($M_x = 0$) по каждому поисковому признаку или предпосылке раздельно для месторождений ($M^{A_1}_{x=1}$ и $M^{A_1}_{x=0}$) и рудопроявлений ($M^{A_2}_{x=1}$ и $M^{A_2}_{x=0}$). Эти данные используются для количественной оценки коэффициентов информативности по следующим формулам:

$$\alpha_i = \ln M^{A_1}_{x=1} - \ln M^{A_2}_{x=1}$$

Таблица 8

Предпосылки и признаки поискового прогнозирования

Объекты	Предпосылки и признаки X_1	X_2	X_3	X_n
$A_1=1$	1	1	0	1
$A_1=2$	1	1	0	0
. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .
. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .
$A_2=1$	0	0	1	0
$A_2=2$	0	1	0	0
. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .
. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .

— коэффициент информативности i-го признака при его наличии ($x = 1$).

$$\beta_i = \ln M_{x=0}^{A_1} - \ln M_{x=0}^{A_2}$$

— коэффициент информативности i-го признака при его отсутствии ($x = 0$)

$$|\gamma_i| = |\alpha_i| + |\beta_i|$$

— суммарный коэффициент информативности i-го признака (информационный вес признака).

При расчетах по приведенным формулам коэффициенты α_i и β_i могут иметь положительное или отрицательное значение. Если при $x = 1$ коэффициент α_i имеет знак «+», а при $x = 0$ знак «—», такой признак более характерен для первой (месторождения), чем для второй (рудопроявления) группы объектов. Такие признаки будут иметь прямое поисковое значение. Прямыми могут являться и те признаки, для которых при $x = 0$ коэффициент β_i имеет знак «—». К отрицательным поисковым признакам относятся признаки, для которых при $x = 1$ коэффициенты α_i имеют знак «—», а при $x = 0$ коэффициенты β_i имеют знак «+». Все полученные данные заносятся в табл. 9.

По суммарной информативности (коэффициент γ_i) к наиболее информативным относятся следующие предпосылки и признаки поискового прогнозирования: 45 (пропилиты с белыми метасоматитами); 28 (погружения брахиантиклиналей); 64 (гидрогеохимические аномалии по сульфат-иону площадью до 2 км^2); 107 (сочетание магнитных, электрических и геохимических аномалий) и др.

Выполненные исследования позволили авторам сделать вывод о том, что приведенные материалы по количественной оценке информативности поисковых признаков на олово в целом не противоречат имеющимся представлениям о роли этих признаков

при поисках оловянных месторождений. Однако количественная оценка их позволяет более полно использовать при прогнозировании оруденения всю геолого-геофизическую информацию, что несомненно будет способствовать повышению эффективности поисковых работ.

На основе использования методов дискретной математики с применением ЭВМ отдельными авторами предлагаются принципы крупномасштабного прогнозирования. К таким исследованиям, например, относится работа А. Н. Еремеева, И. С. Модникова и др. [142]. В ней решаются две задачи: 1) установление зависимости между масштабом редкометального оруденения и геологическими факторами на известных месторождениях и 2) выяснение возможностей прогнозирования оруденения по ограниченному количеству данных (факторов), которые могут быть установлены при геологическом картировании и поисках, т. е. решение задачи распознавания образов по неполной о них информации. Методика обработки исходных данных следующая: выбор эталонных объектов, характеризующих искомый тип оруденения; геологическое описание этих эталонов в рамках сравнительно небольшого количества факторов. Было выбрано 11 эталонных объектов и 7 контрольных (2 соответствующих месторождениям и 5 — соответствующих рудопроявлениям). Схема описания объектов по группам региональных и локальных геологических факторов приводится на рис. 8.

Региональные факторы считаются легковыявляемыми при геологическом картировании, локальные факторы — более трудновыявляемы, так как требуют применения бурения, горных выработок. Но и среди них могут быть относительно легковыявляемые факторы. Основным показателем является информационный вес объекта, а также информационный вес признака.

Прогнозирование оруденения целесообразно осуществлять в две последовательные стадии: 1) выделение совокупности геологических критериев, определяющих масштаб оруденения на известных месторождениях и рудопроявлениях; 2) оценка возможного масштаба оруденения на участках (в блоках) по совокупности региональных и локальных факторов (критериев). Региональные критерии, выявляемые при геологической съемке масштаба 1 : 50 000—1 : 25 000, позволяют проводить деление участков на три группы: перспективные, возможно перспективные и неперспективные. Локальные факторы (критерии), выявляемые при геологической съемке масштаба 1 : 10 000—1 : 2000, позволяют оценивать возможный масштаб оруденения для первых двух групп блоков (перспективных и возможно перспективных). Оценка блоков дана методом дискретной математики без учета их пространственного положения. В данном случае — это пример непространственной схемы распознавания.

Представляет интерес методика формационного анализа месторождений полезных ископаемых на основе информационно-

Таблица 9

Поисковые предпосылки и признаки прогнозирования оловянного оруденения и их информативность
(по Ю. Г. Иванову и Г. С. Коногорову, с сокращениями)

Поисковые предпосылки и признаки	Номер признака	Среднее			Место поискового признака по его информативности (γ_i)
		α_i	β_i	γ_i	
Стратиграфические					
Приуроченность оруденения к осадочным отложениям карбона—нижней перми	4	0,0	0,0	0,00	93—107
То же, к отложениям нижнего мела	6	+0,25	−0,37	0,62	18
Магматические					
Наличие даек и штоков кислого состава	10	0,0	0,0	0,00	93—107
Приуроченность к поясам даек	12	+1,22	−0,28	1,50	22—26
Структурные					
Погружения брахиантиклиналей	28	+1,65	−0,58	2,23	2
Воздымание брахисинклиналей	30	0,0	−0,07	0,07	79—93
Метасоматические					
Белые метасоматиты с реликтами биотититов	43	0,0	0,0	0,0	93—107
Пропилиты с белыми метасоматитами	45	+1,36	−1,45	2,81	1
Геохимические					
Гидрогеохимические аномалии сульфат-иона площадью до 2 км²	64	−1,65	+0,51	2,16	3
То же, площадью 10—17 км²	68	0,0	0,0	0,00	93—107
Литогеохимические аномалии: произведение площади ореола на содержание олова: —0—10⁻³	82	0,0	+0,15	0,15	67—70
(км²×%) — 10⁻³—10⁻²	83	−1,32	+0,57	1,89	10—12
Геофизические					
Максимальная интенсивность локальных магнитных аномалий (гамм): 200	100	0,0	0,0	0,00	93—107
200—500	101	+1,23	−0,27	1,50	22—26
Локальные аномалии ЕП до 500 мВ	104	+0,62	−1,12	1,74	13
Сочетание геофизических и геохимических аномалий:					
Магнитных и геохимических	105	0,0	+0,07	0,07	79—93
Магнитных, электрических и геохимических	107	+0,87	−1,24	2,05	4

логических методов, предлагаемых Р. М. Константиновым [86]. Одной из задач формационного анализа является определение принадлежности отдельных месторождений к тем или иным формациям путем выбора наиболее полных аналогий. Применяя наиболее простые методы из теории распознавания образов, можно определить сходство и различие между месторождениями по формуле

$$\rho = \frac{\langle a, b \rangle}{[a][b]} = \frac{a_1b_1 + a_2b_2 + \ldots + a_nb_n}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + \ldots + a_n^2} \cdot \sqrt{b_1^2 + b_2^2 + \ldots + b_n^2}},$$

Рис. 8. Пример схемы табличного описания объектов поисков (по А. Н. Еремееву, И. С. Модникову и др.). Цифры в скобках — количество признаков

где ρ — коэффициент сходства месторождений; a_1, a_2 — количество минералов в первом месторождении; b_1, b_2 — количество минералов во втором месторождении;

$$\rho = \frac{4\cdot4\cdot4\cdot4+3\cdot3+2\cdot2+3\cdot1+4\cdot1+4\cdot1}{\sqrt{16+16+9+16+4+9+16+16+16}\times\sqrt{16+16+9+4+1+1+1+16+9+16}} = 0{,}56.$$

Коэффициент сходства между первым и вторым месторождениями равен 0,56, что свидетельствует о значительном различии их минерального состава. Для месторождений, принадлежащих к одной рудной формации, этот коэффициент обычно превышает значение 0,6.

В рассмотренном примере Р. М. Константиновым были исследованы два оловорудных месторождения Забайкалья: первое — Хапчерангинское, второе — Этыкинское. Оценка содержаний минералов в месторождениях производилась визуально по следующей шкале: главные минералы — 4; второстепенные — 3; мало распространенные — 2; редкие — 1; отсутствуют — 0. В табл. 10 приведены данные подобной оценки для указанных месторождений.

Таблица 10

Полуколичественная оценка минерального состава

Месторождение	Минеральный состав											
	Кварц	Касситерит	Арсенопирит	Хлорит	Пирит	Пирротин	Сфалерит	Галенит	Топаз	Флюорит	Мусковит	Карбонат
Хапчерангинское	4	4	3	4	2	3	4	4	0	0	0	4
Этыкинское	4	4	3	0	2	1	1	1	4	3	4	0

По значениям коэффициентов сходства определяется группа месторождений, наиболее однородных по минеральному составу. Затем для них составляется шкала геологических признаков: региональные геологические структуры, локальные рудовмещающие структуры, морфология рудных тел, околорудные изменения, магматические породы, с которыми ассоциирует оруденение.

Сопоставление геологического и математического направлений в прогнозировании полезных ископаемых позволяет сделать следующие выводы.

— Оба направления в прогнозировании имеют право на существование и развитие. Однако в е д у щ и м остается геологическое направление, основанное на учете максимального количества данных и факторов и прежде всего геологического плана.

— Математическое направление, основанное на обязательной формализации геологических данных, может развиваться как вспомогательное, дополняющее геологическое направление количественной оценкой некоторых факторов.

Прогнозирование — процесс творческий, требующий от геолога мобилизации всех знаний и способностей, диалектической логики мышления и реальности в выводах. Прогноз должен завершаться разработкой генеральных идей, на основе которых определяются перспективы конкретных площадей в отношении полезных ископаемых. Эти идеи и мысли не могут быть заменены никакими формулами или алгоритмами. В свое время А. Эйнштейн писал, что физические книги полны сложных математических формул, но началом каждой физической теории являются мысли и идеи, а не формулы.

Прогнозирование полезных ископаемых заключается не только в предвидении (предсказании), но и в проверке прогноза [197]. Учитывая то, что прогноз является вероятностным, геологу всегда приходится сопоставлять и оценивать несколько вариантов решения. И поэтому вначале следует разработать ряд вариантов, считая один из них наиболее оптимальным. В процессе дальнейшей проверки прогноза требуется постоянный анализ и сопоставление правильности того или иного варианта. По мере развития поисковых работ необходимо критически оценивать получаемые результаты и отказываться от ранее выбранного варианта в пользу того, который приобретает все больший информационный вес.

В целом прогноз полезных ископаемых, разработанный в начале поисковых работ, является лишь общим соображением или предвидением в отношении возможного наличия полезного ископаемого. В дальнейшем успешное осуществление прогноза требует вдумчивого анализа и сопоставления вариантов, а также упорного и настойчивого труда большого коллектива геологов, геохимиков, геофизиков. И при всем этом совпадение прогноза с действительностью может быть достигнуто только при условии надежности исходных фактических данных, а также правильности геологических позиций, взятых в основу прогноза.

Характерной особенностью современного периода в прогнозировании является появление крупных коллективов, привлекаемых для разработки прогноза скрытых месторождений в старых горнодобывающих районах. Так, например, для решения подобной проблемы был создан коллектив по Рудному Алтаю, где расширение сырьевой базы действующих горнодобывающих предприятий может быть сделано практически на основе выявления крупных скрытых месторождений свинцово-цинковых и полиметаллических руд. В разработке прогнозных карт по Рудному Алтаю участвуют представители ЦНИГРИ, ИМГРЭ, ВКГУ, ЗСГУ, МГУ, МГРИ, Геохимической экспедиции ЦГТ МГ РСФСР и др. В составе этого коллектива имеется экспериментальная группа по применению математических методов для прогнозирования.

Элементами прогноза месторождений полезных ископаемых являются предпосылки и признаки поискового прогнозирования и карты прогноза. Эти основные элементы освещены в следующих главах данного раздела курса.

Глава 2

ПРЕДПОСЫЛКИ И ПРИЗНАКИ ПОИСКОВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

С древнейших времен при поисках полезных ископаемых человек замечает и использует определенные природные условия и признаки, которые указывают на возможное присутствие полезных ископаемых.

Первое обобщение поисковых признаков рудных жил содержится в трудах М. В. Ломоносова, который выделил общие и «особливые» признаки. В дальнейшем поисковые признаки постепенно становились необходимым элементом геологического обоснования поисков и определения перспектив районов развития полезных ископаемых.

Наиболее полное научное обобщение по этим вопросам было сделано В. М. Крейтером в его широко известной книге «Поиски и разведка полезных ископаемых» (1940). Им были выделены поисковые геологические критерии, т. е. любые геологические элементы, наличие которых указывает на возможность накопления в данных условиях тех или иных полезных ископаемых. Критерии подразделялись на общие и локальные. Термин «поисковые геологические критерии» был предложен В. М. Крейтером вместо термина «поисковые признаки». Поисковыми признаками им предлагалось называть только те факты, которые прямо указывают, что месторождение, хотя бы непромышленное, существует. Во всех последующих работах по обоснованию поисков различных полезных ископаемых идеи В. М. Крейтера о поисковых критериях и признаках нашли дальнейшее развитие. Но вместо термина «критерии» стали чаще употреблять термин «геологические предпосылки», появившийся в печати одновременно в книге В. И. Смирнова «Геологические основы поисков и разведки рудных месторождений» [170] и в книге А. С. Амеландова и Е. О. Погребицкого [108] «Методическое руководство по геологической съемке и поискам». Собственно поисковые признаки В. И. Смирнов подразделил на природные и народные. А. С. Амеландов и Е. О. Погребицкий, выделяя поисковые признаки, подразделили их на прямые и косвенные.

Таким образом, в настоящее время выделяются две группы факторов, обосновывающих прогноз и перспективы поисков полезных ископаемых — предпосылки и признаки. В современных опубликованных работах эти группы элементов прогноза полезных ископаемых нередко именуют предпосылками и признаками по-

искового прогнозирования, что является, пожалуй, наиболее приемлемым для дальнейшего применения.

Предпосылки поискового прогнозирования — это любые геологические факторы, позволяющие предполагать наличие полезных ископаемых. Признаки поискового прогнозирования — это такие геологические факторы, которые непосредственно указывают на присутствие проявлений полезных ископаемых. Признаки подразделяются на прямые и косвенные.

В связи с тем что не всегда удается сделать четкое различие между некоторыми предпосылками и признаками поискового прогнозирования, можно и те, и другие рассматривать совместно, отмечая особенности их для поисков.

Предпосылки и признаки поискового прогнозирования связаны с определенными типами геологических и геофизических полей и аномалий, в соответствии с которыми может быть выполнена их группировка (табл. 11).

Таблица 11

Группировка предпосылок и признаков поискового прогнозирования

Поля и аномалии	Предпосылки	Признаки
Геологические	Стратиграфические Тектонические Геоморфологические	
Геологические, геохимические, минералогические	Литологические Петрологические Петрографические	
Геохимические Минералогические Геофизические	Геохимические Минералогические Геофизические	Геохимические Минералогические Геофизические

Первые шесть групп предпосылок имеют в основном значение региональных факторов, которые позволяют предполагать наличие полезных ископаемых в районе исследований. Три последние группы могут иметь значение не только региональных, но и локальных факторов, которые указывают непосредственно на присутствие полезных ископаемых, т. е. могут являться поисковыми признаками. Это в первую очередь относится к геохимическим и минералогическим факторам и в меньшей степени к геофизическим, однако некоторые из них могут также представлять собой поисковые признаки.

Все группы предпосылок и признаков поискового прогнозирования в дальнейшем рассматриваются применительно к прогнозу экзогенных и эндогенных месторождений полезных ископаемых.

Стратиграфические предпосылки

Стратиграфические предпосылки заключаются в использовании возраста геологических образований для прогноза и поисков полезных ископаемых. В истории развития земной коры выделяются эпохи максимального накопления определенных видов экзогенных и эндогенных полезных ископаемых.

Особое значение стратиграфические предпосылки имеют для поисков экзогенных полезных ископаемых. Впервые для прогноза месторождений углей стратиграфические предпосылки были сформулированы акад. П. И. Степановым. Он выявил периодичность процессов угленакопления с чередованием максимумов и минимумов захоронения растительных масс. Первый максимум относится к пермо-карбону, второй — к юре, третий — к третичному периоду. П. И. Степанов считал триас и мел периодами спада угленакопления, однако указывал на возможность открытия меловых месторождений углей в Азии. В настоящее время выяснено, что меловую эпоху также следует относить к максимумам угленакопления [30]. Крупнейшим в мире оказался Ленский нижнемеловой угленосный бассейн. В целом в настоящее время стратиграфическое распределение запасов углей на земном шаре и на территории СССР характеризуется данными, отраженными на диаграмме (рис. 9).

Приведенные материалы показывают, что использование стратиграфических предпосылок, заключающееся в выявлении максимумов накопления полезных ископаемых, следует проводить конкретно для определенных районов и при этом иметь в виду, что не все максимумы могут быть выявлены в достаточной степени.

Характерным является стратиграфическое распределение ископаемых солей. А. А. Иванов [69] отмечает, что в последокембрийское время соленакопление происходило почти во все эпохи, но максимумами соленакопления, когда создавались крупнейшие промышленные соляные бассейны и месторождения, для территории СССР будут: кембрийский, девонский, пермский, юрский и третичный периоды. А. А. Иванов указывает, что при поисках следует иметь в виду, что в стратиграфическом разрезе регрессивного комплекса, к которому приурочено подавляющее большинство соляных месторождений, соленосные лагунные отложения располагаются в средних частях разреза; в основании его обычно залегают морские отложения и наверху — континентальные, озерно-речные и пролювиальные отложения.

При использовании стратиграфических предпосылок для поисков определенных экзогенных полезных ископаемых необходимо учитывать некоторые особенности в целом для земного шара и отдельных его регионов. Например, по данным Б. М. Гиммельфарба [45], в стратиграфическом размещении фосфоритов на земном шаре и на территории СССР отмечаются близкие закономерности. Но вместе с тем имеются и некоторые отличия: для тер-

образования месторождений и рудопроявлений в течение других эпох. Для многих рудных районов (Кураминский, Забайкалье, Рудный Алтай и др.) данная гипотеза на возраст промышленного оруденения является ведущей, так как ее поддерживает большинство геологов.

Для примера рассмотрим материалы по этому вопросу применительно к Кураминскому району Средней Азии. По данным И. П. Кушнарева [98], здесь также существуют две точки зрения на возраст промышленных месторождений, среди которых установлены следующие типы: скарново-медно-магнетитовые, скарново-полиметаллические, полиметаллические и др. Сторонники первой точки зрения полагают, что каждый из типов рудных образований связан с определенным интрузивным комплексом, отличающимся по возрасту от другого интрузивного комплекса. Многочисленные сторонники второй точки зрения (Ф. И. Вольфсон, И. П. Кушнарев и др.) считают, что все скарново-рудные и собственно гидротермальные образования представляют собой стадии единого рудного процесса, завершавшего верхнепермскую — нижнетриасовую магматическую деятельность и парагенетически связаны с малыми интрузиями этого периода. В качестве подтверждения такой точки зрения И. П. Кушнарев приводит следующие доказательства.

— Залегание ряда месторождений в отложениях шурабсайской и кызылнуринской свит перми и прорывающих их интрузивах, в том числе и дайках регионального распространения. Верхней возрастной границей развития эндогенной минерализации являются нижне- и среднеюрские угленосные отложения; последние не пересекаются ни дайками, ни рудными телами.

— Строгая последовательность образования отдельных типов минерализации — от высокотемпературных к низкотемпературным. Нет такого случая, когда низкотемпературные проявления пересекались бы высокотемпературными, что можно было бы рассматривать как доказательство резко разновозрастных этапов или эпох рудообразования. Не имеется ни одного месторождения или рудопроявления, которые прорывались бы массивами (или их апофизами) одного из выделенных интрузивных комплексов.

— Состав и последовательность образования минералов в однотипных месторождениях одинаковы вне зависимости от возраста и состава вмещающих пород.

— Наличие в одинаковых минералах, развитых в месторождениях различных типов, одних и тех же элементов-примесей: кадмия, индия, серебра и др.

— Отсутствие в базальных конгломератах разновозрастных палеозойских свит галек, содержащих руды месторождений перечисленных типов.

Ведущим методом при определении возраста интрузивных и рудных образований является геологический. Применительно к докембрийским образованиям наиболее достоверны методы

определения абсолютного возраста. Стратиграфическое подразделение докембрия имеет большое поисковое значение. По мнению ряда исследователей, в докембрии существовало много эпох

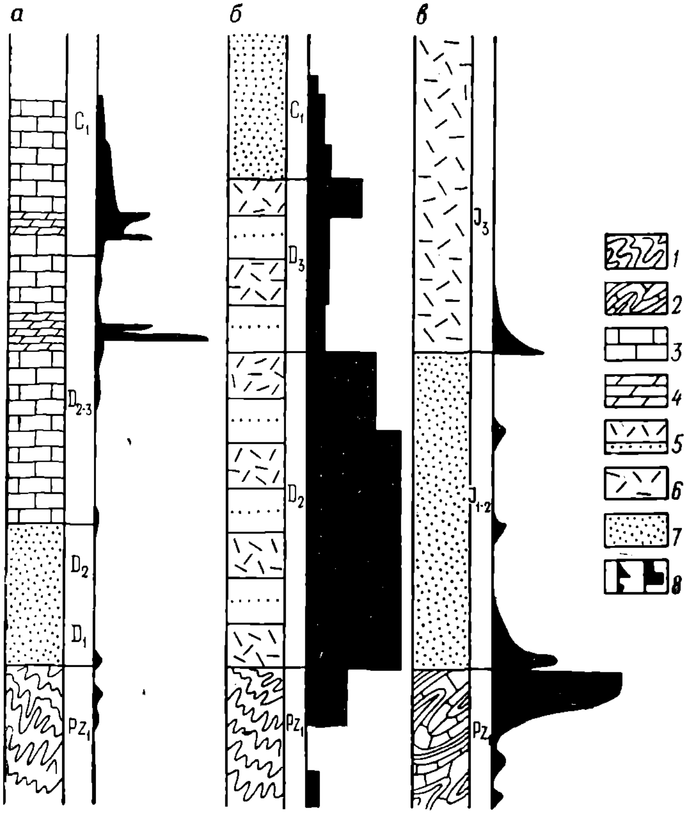


Рис. 11. Распределение свинцово-цинкового оруденения в стратиграфическом разрезе рудных районов:

а — Каратау (по И. И. Князеву); *б* — Рудного Алтая (по Н. Л. Бубличенко); *в* — Восточного Забайкалья

Нижний структурный этаж: *1* — сланцы, *2* — мраморизованные известняки и сланцы; верхний структурный этаж: *3* — известняки, *4* — доломиты, *5* — вулканогенно-осадочные отложения, *6* — эффузивы, *7* — терригенные отложения; *8* — диаграмма распределения оруденения

осадконакопления, магматизма, метаморфизма и рудообразования, среди которых, по-видимому, были также эпохи максимумов и минимумов.

Н. П. Семененко [166] отмечает, что в породах докембрия, насчитывающих от 3000 до 500 млн. лет, накоплены огромные рудные ресурсы. Из докембрийских месторождений добывается: 75% золота, железа, платины, титана; 90% никеля и кобальта; 80—90% урана; 100% тория; 30% марганца; 30% хрома; 25%

меди. Несомненно, что более уверенное и подробное расчленение докембрия на отдельные стратиграфические единицы позволит выработать надежные предпосылки для прогноза и поисков отдельных видов минерального сырья.

Для поисковых целей используется также распределение эндогенных месторождений конкретных районов в стратиграфическом разрезе вулканогенно-осадочных толщ. Например, свинцово-цинковые месторождения Восточного Забайкалья приурочены к той части стратиграфического разреза, где проходит контакт между палеозойскими и мезозойскими отложениями. На Рудном Алтае такое же оруденение размещается преимущественно в нижней части девонских отложений, вблизи контактовой поверхности с нижнепалеозойскими породами. В Каратау свинцово-цинковые месторождения локализуются в зоне соприкосновения девонских и каменноугольных отложений (рис. 11).

ВЫВОДЫ

— На основе общих планетарных стратиграфических предпосылок разрабатываются региональные предпосылки применительно к конкретным районам и типам полезных ископаемых.

— Особое внимание уделяется определению возраста формирования полезных ископаемых геологическими методами, сопровождаемыми определениями абсолютного возраста.

— При составлении рабочих стратиграфических колонок учитывается возрастное положение интрузий и полезных ископаемых (рис. 12).

Тектонические предпосылки

Тектонические предпосылки заключаются в использовании тектонических структур земной коры для прогноза и поисков полезных ископаемых.

В основу прогноза любых полезных ископаемых принимается тектоническое положение изучаемого объекта по отношению к наиболее крупным структурам земной коры: щитам и платформам, плитам, складчатым зонам, краевым и внутренним прогибам, впадинам складчатых зон. Характер этих крупных структур, размеры, а также вся история их формирования во многом определяют размещение полезных ископаемых, а следовательно, и обоснование поисков месторождений, выходящих на поверхность и скрытых (рис. 13).

Для прогноза необходимо анализировать и учитывать не только тектонические структуры периода формирования месторождений полезных ископаемых, но и современные.

Экзогенные полезные ископаемые осадочного генезиса (соли, угли, фосфориты, железные и марганцевые руды, бокситы, строительные материалы и др.) в период формирования обычно связаны с депрессионными структурами тектонического или

эрозионного происхождения, в которых они приобрели первичное горизонтальное или пологое залегание. В дальнейшем это залегание сохраняется в чехле плит или тектонических впадин, а также

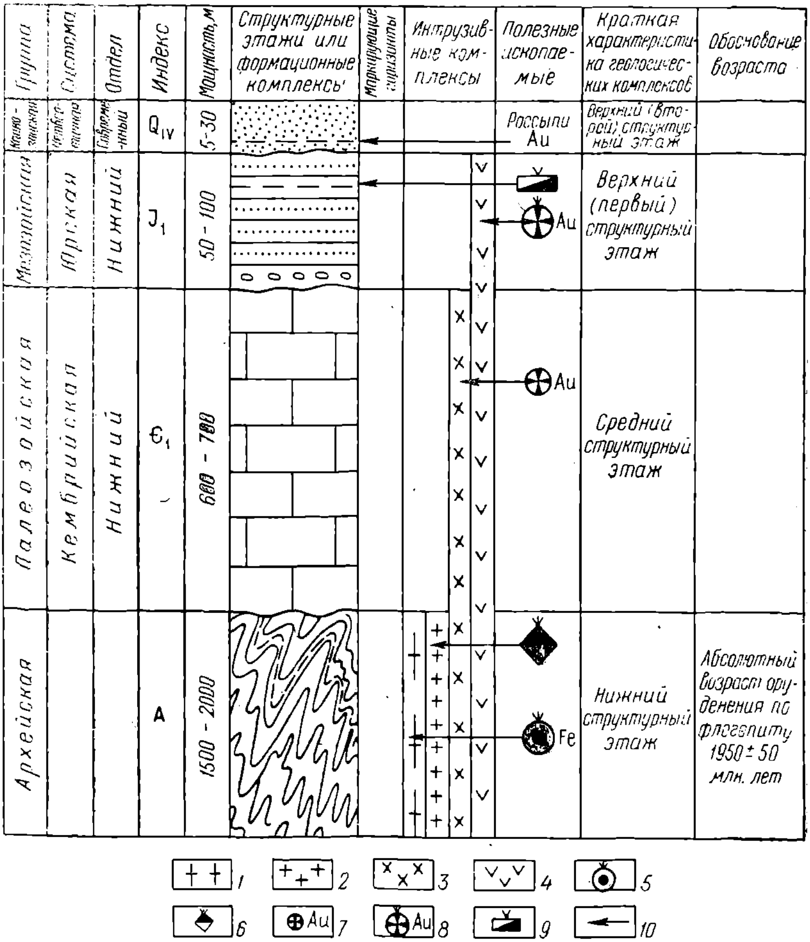


Рис. 12. Форма рабочей стратиграфической колонки.

Интрузивные породы: *1* — сиенит-диориты, *2* — аляскитовые граниты, *3* — монцониты, *4* — лампрофиры; месторождения: *5* — железа (крупные), *6* — флогопита (крупные), *7* — золота (непромышленные), *8* — золота (крупные), *9* — бурого угля (средние), *10* — связи полезных ископаемых с геологическими образованиями

в эрозионных депрессиях. В других же типах структур это залегание нарушается и возникают простые или сложные складчатые образования вмещающих толщ и полезных ископаемых (в фундаменте платформ, в краевых и внутренних прогибах, в складчатых зонах).

Данное положение можно проиллюстрировать на примерах месторождений ископаемых солей. Формирование их происходило в морских бассейнах, располагавшихся в синеклизах платформ или в краевых и внутренних прогибах, во впадинах складчатых зон.

По данным А. А. Иванова и Ю. Ф. Левицкого [70], наиболее крупные бассейны ископаемых солей приурочены к Московской и Прикаспийской синеклизам Русской платформы, к Предуральскому краевому прогибу, к внутреннему прогибу Большого

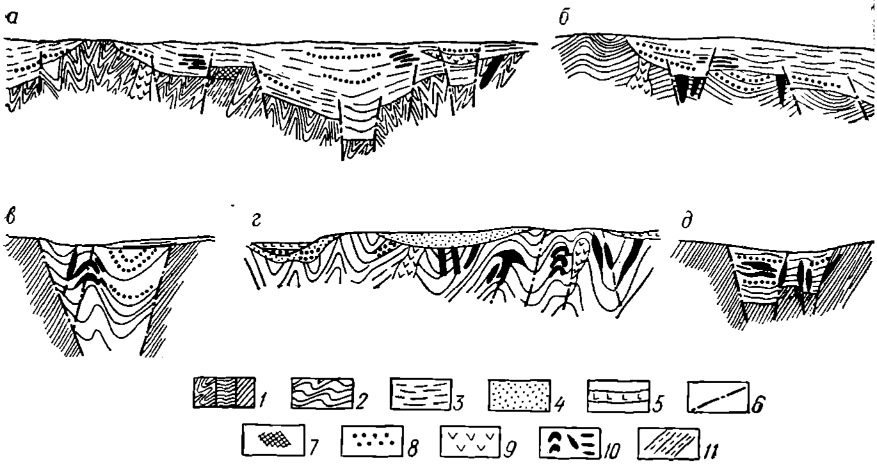


Рис. 13. Обобщенные схемы пространственного положения скрытых месторождений в различных тектонических условиях:

а — на платформах с докембрийским фундаментом; *б* — на платформах с палеозойским фундаментом; *в* — в краевых и внутренних прогибах; *г* — в складчатых зонах различного возраста; *д* — во впадинах складчатых зон.

1 — фундамент платформ, прогибов и впадин; *2* — складчатые зоны; *3* — осадочный чехол; *4* — рыхлый покров четвертичного возраста; *5* — покровы базальтов; *6* — разломы; генетические типы скрытых месторождений: *7* — коры выветривания, *8* — осадочные, *9* — магматические, *10* — постмагматические, *11* — метаморфогенные

Донбасса, к южной части Тунгусской синеклизы Сибирской платформы, к впадинам складчатых зон Средней Азии и Армении и т. д. Условия залегания соляных пластов во всех этих структурах различны. В большинстве из них соляные отложения сохранили первоначальное почти горизонтальное залегание слоев, что обеспечило хорошую сохранность соляных залежей. Многие из этих месторождений скрыты (погребены) на значительной глубине от поверхности и характеризуются отсутствием отчетливых геофизических аномалий. В связи с этим прогноз и выявление их производятся на основе общих тектонических предпосылок и глубокого бурения. Иногда подобные месторождения солей обнаруживаются в пределах благоприятных тектонических структур при бурении структурных или нефтяных скважин. Так было обнаружено крупнейшее Старобинское месторождение калийных

солей в Белоруссии, приуроченное к Шатилковской впадине Припятского прогиба, являющегося продолжением прогиба Большого Донбасса. Горизонтально залегающие пласты калийных солей здесь расположены на глубине от 385 до 545 м от поверхности (рис. 14).

В отличие от подобных месторождений, сохранивших первоначальное спокойное залегание продуктивных горизонтов, имеются месторождения с очень сложными структурами. К ним, например, относятся соляные купола в Прикаспийской синеклизе и в Предкарпатском прогибе. Здесь для прогноза соляных куполов могут использоваться геофизические методы, так как эти объекты создают отчетливые аномалии (рис. 15).

Встречаются месторождения солей, тектонические структуры которых особенно сложны и требуют большого внимания к изучению керна первых структурных и поисковых скважин. Так, на одном из месторождений солей, приуроченном к впадине складчатой зоны, на разрезах, построенных по данным поисковых и разведочных скважин, было показано горизонтальное залегание соленосной толщи. После проведения шахты и подземных горных выработок разрезы пришлось перестроить, так как пласты солей оказались крутопадающими. В связи с этим изменились запасы солей, условия эксплуатации и другие параметры месторождения. Причинами неправильной интерпретации полученных данных на геологических разрезах являлись невнимательная документация керна скважин, традиционное мнение о горизонтальном залегании осадочных месторождений и игнорирование возможности последующих тектонических преобразований.

При обосновании прогноза углей также необходимо учитывать структуру осадочных толщ периода формирования углей и современные тектонические структуры. Пологозалегающие пласты углей обычно сохранили свое первоначальное горизонтальное залегание только на платформах, как, например, в Подмосковном угольном бассейне (рис. 16, *а*). В прогибах пласты углей приобрели сложные складчатые структуры, обусловившие возможность их выхода на поверхность или под покров рыхлых четвертичных отложений (рис. 16, *б*).

Тектонические предпосылки прогнозирования э н д о г е н н ы х м е с т о р о ж д е н и й отличаются от предпосылок для экзогенных месторождений. Структуры периода формирования эндогенных месторождений и современные их структуры во многих рудных районах совпадают или очень близки.

Ведущими тектоническими предпосылками эндогенных месторождений являются проницаемые зоны, представляющие собой системы разрывных нарушений в земной коре, в пределах которых концентрировались интрузивы, проникали постмагматические растворы, создававшие месторождения. Такие зоны создают аномальные геофизические и геохимические поля. По масштабу проявления проницаемые зоны могут быть планетарными, региональными

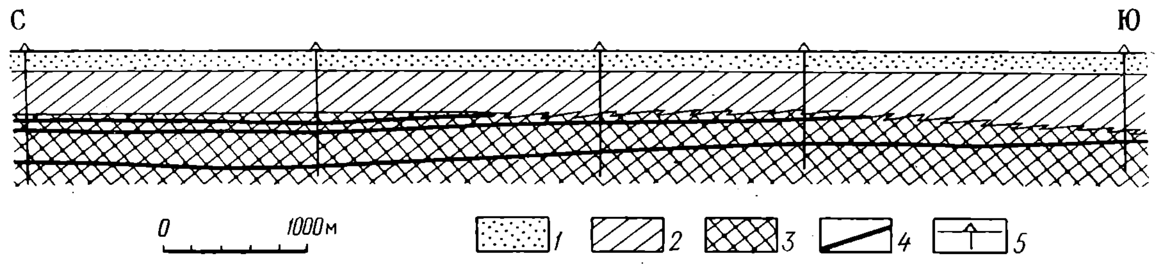


Рис. 14. Схематический разрез участка Старобинского соляного месторождения (по А. А. Иванову и Ю. Ф. Левицкому).

1 — четвертичные, палеогеновые и меловые отложения (пески, глины); фаменский ярус верхнего девона (данково-лебедянские слои): *2* — надсоленосная толща мергелей и глин, *3* — соленосная толща, *4* — пласты калийных солей; *5* — скважины

и локальными. Многие из них связаны с активизацией тектонических структур [196].

Планетарные проницаемые зоны выделяются вдоль глубинных разломов, рассекающих литосферу земного шара. Эти структуры контролируют размещение планетарных металлогенических поясов (Тихоокеанского, Среднеземноморского).

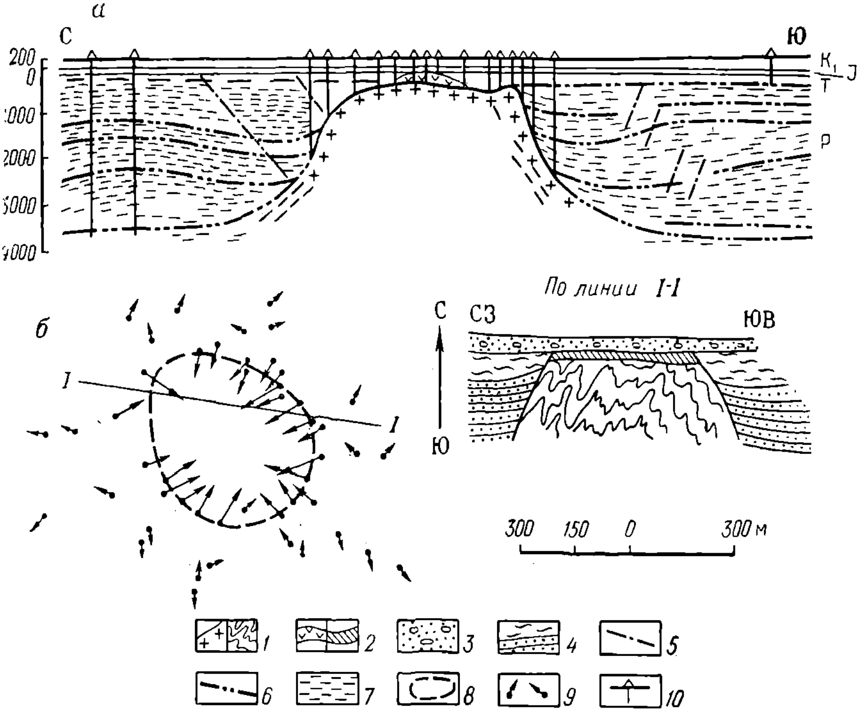


Рис. 15. Геолого-геофизический профиль через соляной купол Кенкияк в Прикаспийской синеклизе в пермских отложениях, перекрытых породами триаса, юры и мела (по В. П. Аврову и др.) — *а* и гравитационная аномалия над соляным куполом, имеющим мощный покров из гипсо-ангидритовых пород (по Б. А. Андрееву) — *б*

1 — соль; *2* — гипсы и ангидриты; *3* — рыхлые отложения; *4* — глины и мергели; *5* — сбросы, по данным сейсмометрии; *6* — основные отражающие горизонты в пермских отложениях; *7* — отражающие площадки; *8* — гравитационная аномалия; *9* — векторы градиентов силы тяжести; *10* — скважины

Региональные проницаемые зоны могут быть выделены по отношению к крупным тектоническим структурам земной коры: платформам, складчатым зонам, срединным массивам, впадинам.

Проницаемые зоны представляют собой системы разрывных нарушений, оконтуривающих на платформах горсты и грабены (рис. 17, *а*), или осевые части антиклинориев и синклинориев в складчатых зонах. В областях соприкосновения тектонических

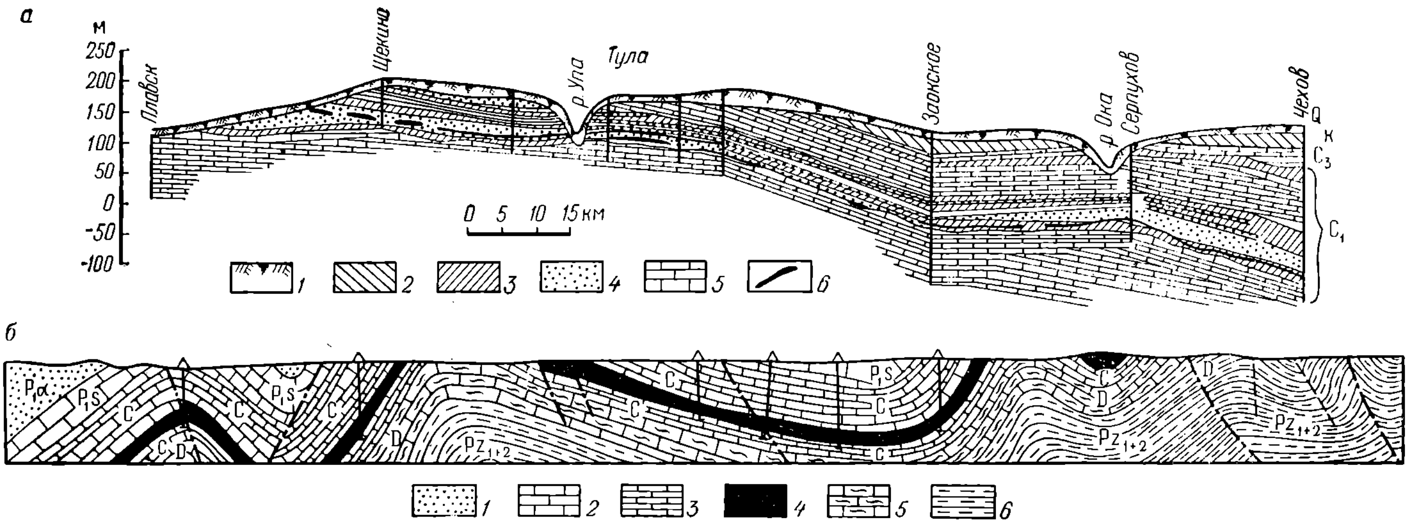


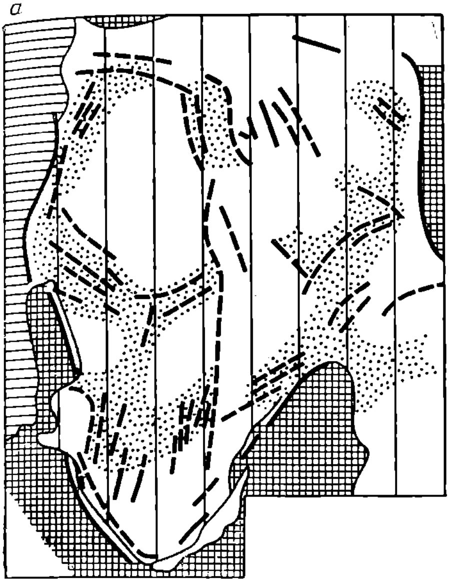
Рис. 16. Условия залегания угольных пластов.

а — ненарушенные условия — разрез Подмосковного буроугольного бассейна (по А. Г. Бобрышеву и Ф. Я. Тараскиной). *1* — растительный слой и суглинки; *2* — глины мезозойские; *3* — глины палеозойские; *4* — пески; *5* — известняки; *6* — угли. *б* — нарушенные условия — разрез Кизиловского каменноугольного бассейна (по И. В. Пахомову [131]). *1* — артинский ярус; *2* — сакмарский ярус; *3* — каменноугольная система (карбонатные отложения); *4* — угленосная толща; *5* — девонская система; *6* — нижнедевонские и додевонские отложения

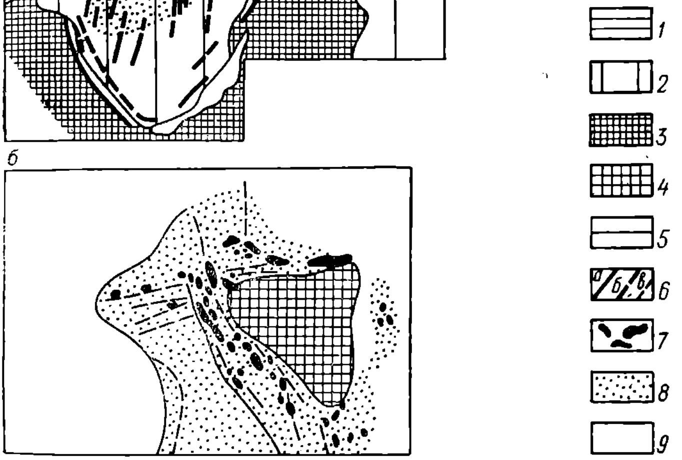
Рис. 17. Положение региональных проницаемых структур, контролирующих металлогенические провинции и зоны:

а — на Сибирской платформе (по Ю. Г. Старицкому и др.); *б* — в обрамлении Колымского срединного массива (по В. Т. Матвеенко и Е. Т. Шаталову); *в* — в районе Агинского поднятия (массива), пересеченного сквозным поясом рудоносных гранитных интрузивов. *1* — Западно-Сибирская плита; *2* — Сибирская платформа; *3* — складчатые области обрамления платформы; *4* — Колымский срединный массив; *5* — Агинское поднятие; *6* — разломы (*а* — на границе основных тектонических структур, *б* — скрытые под платформенным чехлом разломы фундамента, *в* — в складчатых областях); *7* — гранитные интрузивы; *8* — металлогенические провинции; *9* — складчатые зоны

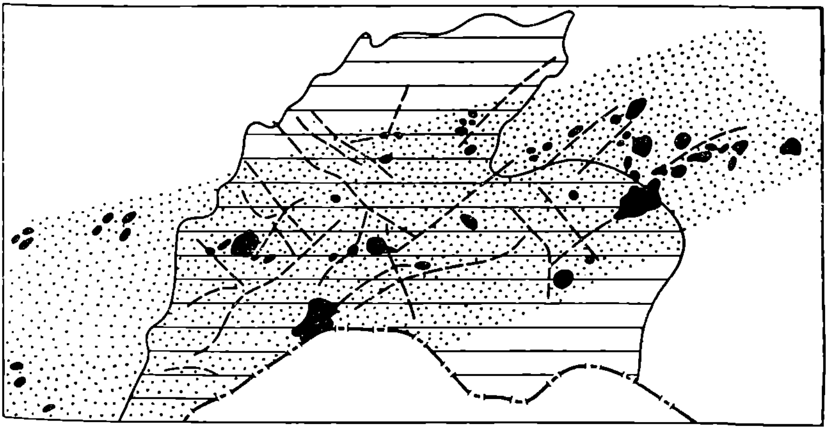
а



б



в



структур различного типа также прослеживаются крупные проницаемые зоны: например, на стыке платформ и складчатых областей, срединных массивов и складчатых областей (рис. 17, *б*). Сквозные системы разрывных нарушений [165], проходящие через крупные тектонические структуры различного типа и связанные с активизацией тектонических процессов в посторогенную или постплатформенную стадию развития, определяют положение ряда металлогенических провинций или зон эндогенного типа (рис. 17, *в*).

Локальные проницаемые зоны определяют положение рудных полей и месторождений. Можно выделить проницаемые зоны: согласные со складчатыми структурами; секущие складчатые структуры, связанные с областями соприкосновения блоков пород с различными физико-механическими свойствами; связанные со структурами магмоподводящих каналов. Проницаемые зоны, согласные со складчатыми структурами, могут располагаться вдоль межпластовых и пластовых разрывных нарушений или вдоль пластов с повышенной пористостью. Проницаемые зоны, секущие складчатые структуры, располагаются на участках флексур, замыканий складчатых структур, пересечений разрывных нарушений, в зонах крупных надвигов, сбросов и др. Проницаемые зоны в областях соприкосновения блоков пород с различными физико-механическими свойствами нередко выделяются в зонах контактов блоков осадочных или метаморфических пород различного возраста или в зонах контактов интрузивных массивов. Проницаемые зоны, связанные со структурами магмоподводящих каналов, формируются вдоль даек интрузивных пород, вокруг вулканических аппаратов и других образований.

ВЫВОДЫ

Разработка тектонических предпосылок поискового прогнозирования должна осуществляться на тектонических картах, которые являются основой прогнозных карт. На тектонических картах необходимо выделять структурные этажи, осевые линии складчатых структур, разрывные нарушения, области тектонических структур, благоприятных для образования и поисков месторождений эндогенных и экзогенных полезных ископаемых.

Для составления тектонических карт необходимо широко использовать дешифрирование аэрофотоснимков и данные геофизических исследований [111].

Геоморфологические предпосылки

Сущность геоморфологических предпосылок заключается в использовании характера современных и погребенных форм рельефа для прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых.

Использование форм рельефа для поисков полезных ископаемых было известно еще в глубокой древности. Образно о геоморфологических предпосылках писал М. В. Ломоносов: «Ежели какая-нибудь продолговатая по горе лежащая логовина или борозда в таком месте лежит, где не можно подумать, что ее водой промыло, то надобно тут поискать, буде гора сама общие признаки в себе находящихся руд показывает» [103]. Теперь нам известно, что процессы образования, сохранения или естественного уничтожения многих месторождений теснейшим образом связаны с процессами развития рельефа [65].

Месторождения группируются по связи с рельефом следующим образом (табл. 12; наименования групп даны по В. М. Крейтеру).

Таблица 12

Связь месторождений полезных ископаемых с рельефом

Группы месторождений	Генетические формы рельефа, имеющие поисковое значение
1-я группа. Месторождения, формирующиеся одновременно с рельефом (преимущественно экзогенные)	Эрозионно-аккумулятивные, денудационные, ледниковые, морозно-нивальные, химические, неотектонические
2-я группа. Месторождения, формирующиеся вне связи с рельефом (преимущественно эндогенные и метаморфогенные)	Денудационные, тектонические, неотектонические, вулканические

Все указанные в таблице формы рельефа могут быть как отрицательными, так и положительными. В первой группе месторождений наиболее отчетливую связь с отрицательными формами рельефа имеют аллювиальные россыпи устойчивых минералов (золота, касситерита, алмазов и др.). Эти месторождения формируются в речных долинах (рис. 18, *а*), которые в дальнейшем могут быть погребены под более молодыми отложениями. Но и в данном случае прогноз россыпей направлен на выявление отрицательных форм погребенного рельефа — древних долин, в которых можно предполагать наличие россыпей (рис. 18, *б*). Положительные формы рельефа также используются для прогноза некоторых полезных ископаемых экзогенного происхождения. Например, гравийные месторождения, связанные с ледниковыми отложениями, нередко приурочены к озам, выступающим на поверхности в виде хорошо заметных гряд (рис. 18, *в*).

Во второй группе месторождений, формирующихся вне связи с рельефом, положительные формы образуют, например, граниты окварцованные или содержащие пегматитовые и кварцевые жилы. Грейзенизированным гранитам соответствуют отрицательные формы рельефа — седловины, циркообразные понижения. Подоб-

ные же формы образуют граниты с редкометальным оруденением, расположенные среди ороговикованных вмещающих осадочных пород (рис. 18, *г*). Очень похожие формы рельефа характерны для некоторых меднопорфировых месторождений, расположенных в степных районах. Сложные формы рельефа формируются на

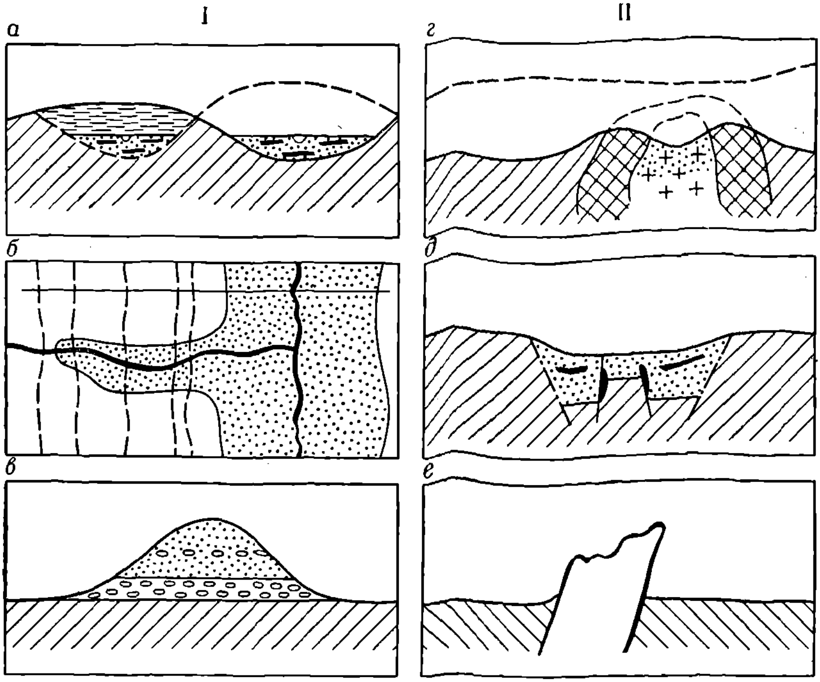


Рис. 18. Связь отрицательных и положительных форм рельефа с месторождениями полезных ископаемых (I — экзогенных, II — эндогенных):

а — современная и погребенная речные долины с золотоносными россыпями (черное); *б* — план тех же долин; *в* — озовая гряда — месторождение гравийно-галечного материала; *г* — эрозионная седловина в ороговикованных песчаниках, связанная с оловоносными грейзенизированными гранитами; *д* — эрозионная депрессия, отражающая положение тектонического грабена, в котором локализуются пласты углей и золото-кварцевые жилы; *е* — выступ кварцевой жилы на поверхности

площадях развития интрузивов центрального типа и трубовзрыва, отчетливо фиксируемых на аэрофотоснимках.

Отрицательные формы рельефа характерны для тектонических депрессий, которые могут вмещать экзогенные и эндогенные месторождения (рис. 18, *д*). Отчетливые положительные формы рельефа создают наиболее устойчивые тела пегматитов, кварцевых жил (рис. 18, *е*).

Рассмотренные и другие примеры связи рельефа с особенностями строения месторождений различных полезных ископаемых указывают на большое значение глубины эрозионного среза конкретного региона или района для прогноза месторождений полез-

ных ископаемых, особенно скрытых. Глубина эрозионного среза — это средняя мощность толщи горных пород в данном районе, уничтоженная эрозией после завершения всех складчатых и магматических процессов. Для использования этого параметра в целях прогноза скрытых месторождений необходимо реставрировать: поверхность земли и ее рельеф в период формирования месторождений полезных ископаемых, возможную глубину образования месторождений, площади с предполагаемыми сохранившимися месторождениями. На основании этих данных строятся карты глубины эрозионного среза с выделенными на них перспективными площадями для поисков скрытых месторождений.

Применительно к эндогенным месторождениям построение таких карт можно проиллюстрировать на примере постмагматических месторождений Кураминской зоны по данным И. П. Кушнарева [99]. До начала различных расчетов и построений должен быть решен вопрос о возрасте оруденения, т. е. установлено время, для которого необходимо выяснить нулевую поверхность. Таким временем для Кураминской зоны И. П. Кушнарев считает верхнюю пермь.

Последовательность определения пространственного положения верхнепермской поверхности, т. е. поверхности земли, существовавшей во время образования рудной минерализации;

— на геологической карте проводились линии разрезов, пересекающих площади развития кызылнуринской свиты верхней перми; выделялись тектонические блоки, ограниченные разломами;

— через каждый тектонический блок строились вертикальные разрезы, на которых показывалось положение верхнепермской поверхности (рис. 19, *б*);

— на геологических разрезах ниже верхнепермской поверхности проводились изогипсы с интервалами в 500 м и отмечались те точки, где эти изогипсы пересекали современную поверхность земли;

— на геологическую карту с топографической основой переносились точки указанных пересечений и проводились изолинии глубины эрозионного среза. В результате составлялась карта эрозионного среза, по которой можно было рассчитать глубину его для каждой площади и участка территории (рис. 19, *б*);

— на карту эрозионного среза наносились рудные месторождения и проявления и производился анализ их размещения по глубинам эрозионных срезов. На основе этого строился график возможных глубин формирования рудных постмагматических месторождений;

— используя этот график, который характерен и для многих других районов развития постмагматического оруденения, можно решать вопрос о наличии или отсутствии скрытых месторождений в различных частях анализируемого района (рис. 19, *а*). При этом

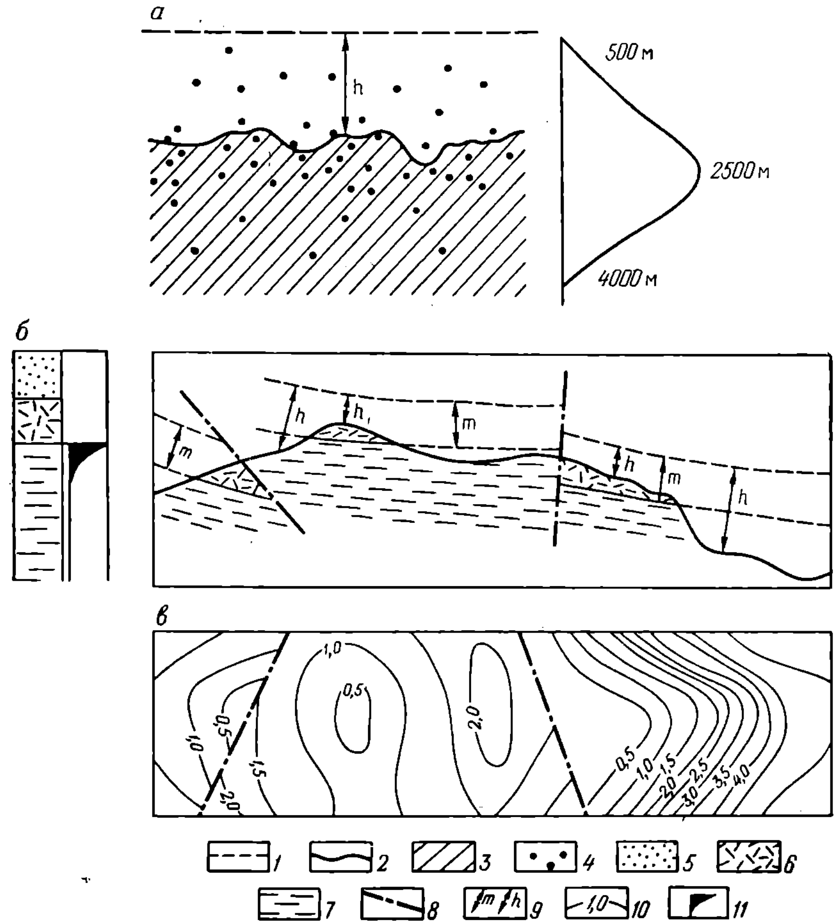


Рис. 19. Схема определения глубины эрозионного среза (по И. П. Кушнареву с дополнениями):

а — разрез и график возможных глубин формирования постмагматических месторождений; *б* — колонка и разрез; *в* — карта.

1 — поверхность в период формирования месторождений; *2* — современная земная поверхность; *3* — неэродированная толща пород; *4* — месторождения и проявления; *5* — мезозойские отложения; *6* — верхнепермские отложения; *7* — палеозойские отложения (нерасчлененные); *8* — разрывные нарушения; *9* — мощность верхнепермских отложений (*m*) и глубина эрозионного среза (*h*); *10* — изолинии глубины эрозионного среза; *11* — оруденение

следует учитывать выводы И. П. Кушнарева о том, что интервал формирования постмагматических месторождений от 3500 до 4000—4200 м является пределом быстрого затухания всех видов эндогенной минерализации. Глубины более 4200 м являются обычно безрудными и мало перспективными.

ВЫВОДЫ

Разработка геоморфологических предпосылок поискового прогнозирования должна производиться на основе анализа топографических карт, аэрофотоматериалов, геологических карт, геофизических исследований и полевых геоморфологических наблюдений.

Графическими документами, на которых отражаются геоморфологические предпосылки, являются геоморфологические карты и карты глубины эрозионного среза. На этих документах выделяются прогнозные площади, перспективные для поисков месторождений.

Литологические предпосылки

Сущность литологических предпосылок заключается в использовании состава и условий образования литологических формаций для прогноза и поисков месторождений экзогенных полезных ископаемых. Главными типами литоформаций, включающих полезные ископаемые, являются (по А. Б. Ронову и В. Е. Хаину):

морские — карбонатные, карбонатно-обломочные, обломочные и вулканогенно-осадочные;

лагунные — соленосные (для аридного климата) и угленосные (для гумидного климата);

континентальные — обломочные, красноцветно-обломочные, вулканогенно-осадочные.

Факторами, определяющими локализацию литоформаций, могут быть: климат, фациальная обстановка накопления, первоисточники и геохимические особенности химических элементов, тектонические условия.

Климат определяет планетарное размещение литоформаций и связанных с ними полезных ископаемых. Н. М. Страховым [178] выделяются ледовый, гумидный и аридный климаты. Для крупных эпох развития Земли происходило изменение климатических зон, связанное с положением экваториальной линии и полюсов (рис. 20, *а*, *б*).

Фациальная обстановка накопления литоформаций определяет их локализацию. На континенте — это кора выветривания, депрессии (отрицательные формы) рельефа, в том числе и речные долины; в морских бассейнах — периферические их части, а иногда и глубинные зоны.

Первоисточники литоформаций и полезных ископаемых во многом связаны с особенностями поведения химических

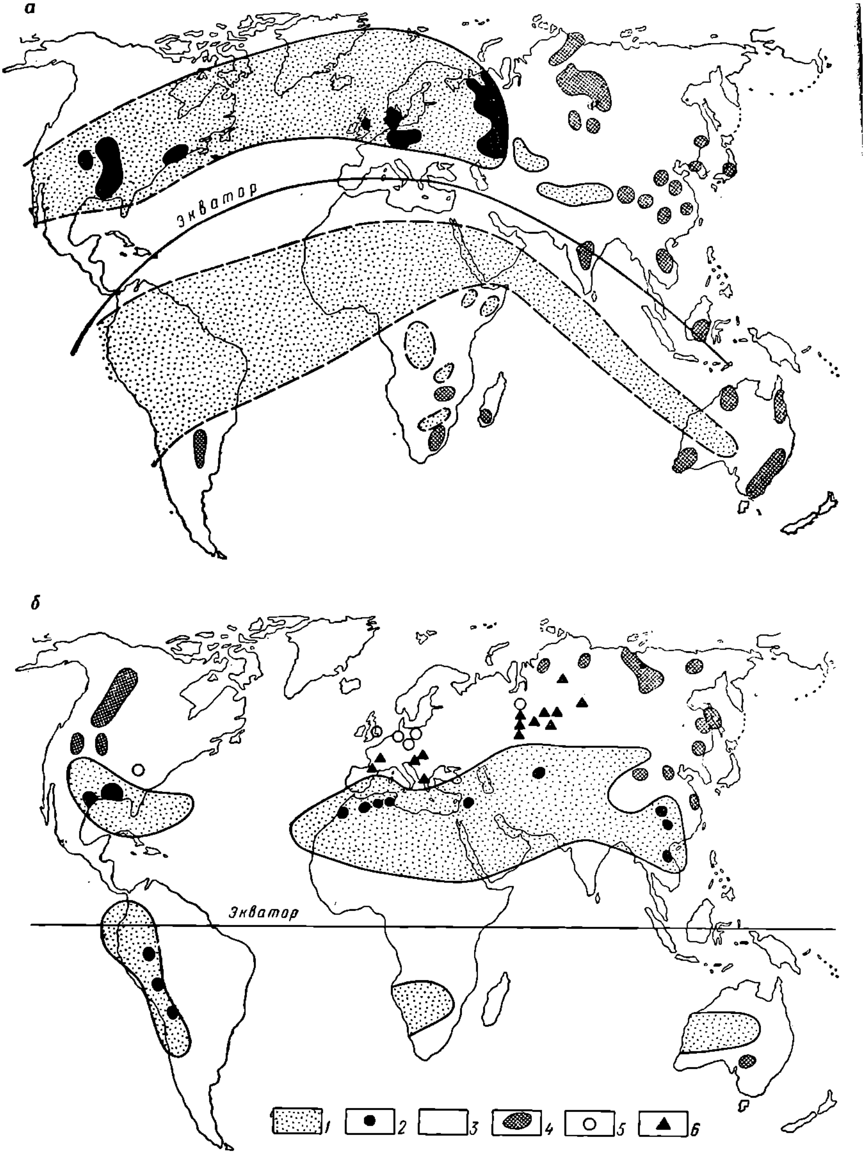


Рис. 20. Влияние положения экваториальной линии земного шара на распределение климатических зон верхней перми (*а*) и нижнего мела (*б*) и связанных с ними районов накопления некоторых экзогенных полезных ископаемых (по Н. М. Страхову).

1 — аридная зона; *2* — галогенные отложения; *3* — гумидные зоны; *4* — угленосные отложения; *5* — железные руды; *6* — бокситы

элементов. Высококларковые химические элементы, подвижные в экзогенных условиях, например калий, натрий, магний, кальций, содержатся в значительных количествах в остатке минеральных веществ морской воды (натрий + магний + хлор 93%, калий + кальций + бром 6%, остальные элементы 1%). Таким образом, воды морских бассейнов могли быть непосредственно первоисточниками некоторых литоформаций и связанных с ними полезных ископаемых (известняки, доломиты, соли и др.).

Для высококларковых, но менее подвижных химических элементов (например, алюминия) возникает проблема первоисточников свободного глинозема при образовании бокситов. Низкокларковые элементы (например, медь $4{,}7 \cdot 10^{-3}$, свинец $1{,}6 \cdot 10^{-3}$, цинк $8{,}3 \cdot 10^{-3}$%) не могут обычно создавать крупные скопления в литоформациях. Такие образования являются исключением и характеризуют особые условия накопления (Мансфельд). Химические элементы, входящие в состав минералов, устойчивых в экзогенных условиях (олово, цирконий, ниобий, тантал, золото, платина и др.), концентрируются в литоформациях, включающих россыпи.

Тектонические условия формирования литоформаций имеют также большое значение для локализации связанных с ними полезных ископаемых, так как определяют наиболее благоприятные периоды на платформах и в геосинклинальных зонах.

В настоящее время можно выделить два направления в разработке литологических предпосылок поискового прогнозирования. Одно направление придает ведущее значение климату, фациальной обстановке накопления и геохимическим особенностям поведения химических элементов. Основоположник этого направления Н. М. Страхов разработал широко известный фациальный профиль накопления экзогенных полезных ископаемых, связанных с литоформациями. Этот профиль накопления осадочных полезных ископаемых составлен для гумидного климата, характеризующегося положительной средней годовой температурой, преобладанием осадков над испарением, а также обилием на поверхности суши весьма активного «живого вещества». Предложенный фациальный профиль весьма заманчив для прогноза отдельных типов литоформаций и осадочных полезных ископаемых. Однако он не объясняет полностью наблюдаемые закономерности.

Второе направление (В. П. Казаринов и др.) считает ведущим фактором характер и положение первоисточников полезных ископаемых. В частности, представителями этого направления придается особое значение коре выветривания, ее развитию и зрелости продуктов выветривания. К наиболее высокозрелым осадкам В. П. Казаринов [78] относит отложения, состоящие в основном из кварца и акцессорных минералов (циркон и др.), а в глинистой фракции — из каолинита. Эти осадки формируются за счет разрушения хорошо проработанной коры выветривания.

Низкозрелые осадки образуются при разрушении мало измененных химическим выветриванием пород. В них преобладают неустойчивые минералы, а в глинах — гидрослюды. Для определения степени зрелости пород предложен коэффициент мономинеральности, равный отношению количества устойчивых к неустойчивых минералов. Подобный же параметр, но применительно к акцессорным минералам, называется палеогеографическим коэффициентом [168] и представляет собой выражение

$$K=\frac{M}{O},$$

где M — устойчивые минералы, O — неустойчивые минералы в коре выветривания.

Для каолиновой коры гумидных зон А. П. Сигов выделил две группы минералов: устойчивые — ильменит, лейкоксен, хромит, циркон, рутил, дистен, ставролит, турмалин, касситерит, силлиманит, анатаз, брукит, корунд, ксенотим, колумбит, монацит, топаз, шпинель, андалузит, алмаз, золото, платина, осмистый иридий; неустойчивые — гранаты, пироксены, амфиболы, эпидот, магнетит, апатит, сфен, серпентин, оливин, цоизит.

Величина палеогеографического коэффициента зависит от климатических и тектонических условий, а также от стадии развития коры выветривания. Для россыпных месторождений, образовавшихся за счет размыва коры выветривания, этот коэффициент имеет большие величины — от 49 до ∞. В отложениях, которые сформировались за счет размыва относительно свежих пород, коэффициент снижается до 1 и менее. Палеогеографический коэффициент может не только указывать на количество продуктов выветривания в осадочных отложениях, но и характеризовать стратиграфическое положение этих отложений [168].

Близким к указанным параметрам оценки литоформаций с точки зрения первоисточников их формирования является и коэффициент устойчивости, предложенный Г. С. Момджи и В. А. Блиновым:

$$K_У=\lg\frac{У\,(100-П)}{10\,Н\,\frac{Н}{10}}=\lg У+\lg\,(100-П)-\frac{Н}{10}\lg Н-1,$$

где У, П и Н — соответственно содержания устойчивых, промежуточных и неустойчивых минералов в терригенной части тяжелой фракции.

Величина $K_У$ непрерывно снижается по мере увеличения в тяжелой фракции доли промежуточных и затем неустойчивых минералов. Наивысшие значения $K_У$ (+2,0 и более) соответствуют продуктивным горизонтам; для песков титаноносных россыпей характерны значения **$K_У$ + 2,5 и более.**

Значения $K_У$ от 0 до +2,0 соответствуют слоям, образовавшимся при размыве нижних зон коры выветривания каолинового профиля. Отрицательные значения $K_У$ показывают, что при образовании отложений в области питания размывались кристаллические породы, не затронутые химическим выветриванием.

Для решения прогнозных и поисковых задач необходимо сочетание рассмотренных двух направлений в разработке литологических предпосылок, на основе которого возможно предложить следующую группировку месторождений экзогенных полезных ископаемых, связанных с литоформациями. При этом также учитываются исследования Д. Г. Сапожникова, Л. В. Пустовалова и др.

Группировка экзогенных месторождений полезных ископаемых, связанных с литоформациями. Для целей прогноза и поисков могут быть выделены четыре группы экзогенных месторождений по характеру первоисточников полезных ископаемых.

1. Месторождения, первоисточником полезных ископаемых в которых являлись продукты коры выветривания. Здесь обычно выделяются месторождения остаточные и осадочные. К остаточным относятся: месторождения бокситов, силикатно-никелевых руд, железных руд, каолинов и др.; к осадочным — бокситы, россыпи, руды железа, марганца и др. Прогнозные площади для обнаружения этих месторождений могут располагаться на континенте (в коре выветривания, в долинах рек) или в прибрежной зоне морских бассейнов вблизи первоисточника на континенте (рис. 21).

2. Месторождения, первоисточником полезных ископаемых в которых являлись воды морских бассейнов. Они формировались на различном расстоянии от береговой линии: в лагунах, заливах (соли), на шельфе (известняки, доломиты, фосфориты). При прогнозе подобных месторождений учитываются общие контуры морского бассейна и его береговой линии.

3. Месторождения, первоисточником полезных ископаемых в которых была растительность, развитие которой определялось главным образом благоприятными климатическими условиями. Прогноз ориентируется на прибрежные зоны бывших континентов в пределах благоприятных климатических поясов (гумидных).

4. Месторождения, первоисточником полезных ископаемых в которых являлся подводный вулканизм. Прогноз ориентируется на депрессии океанического дна (наиболее глубоководные части океана), расположенные по соседству с центрами вулканической деятельности.

Примером подобных месторождений являются современные скопления железисто-марганцевых конкреций в Тихом океане. Н. М. Страхов [179] считает, что эти скопления сформировались

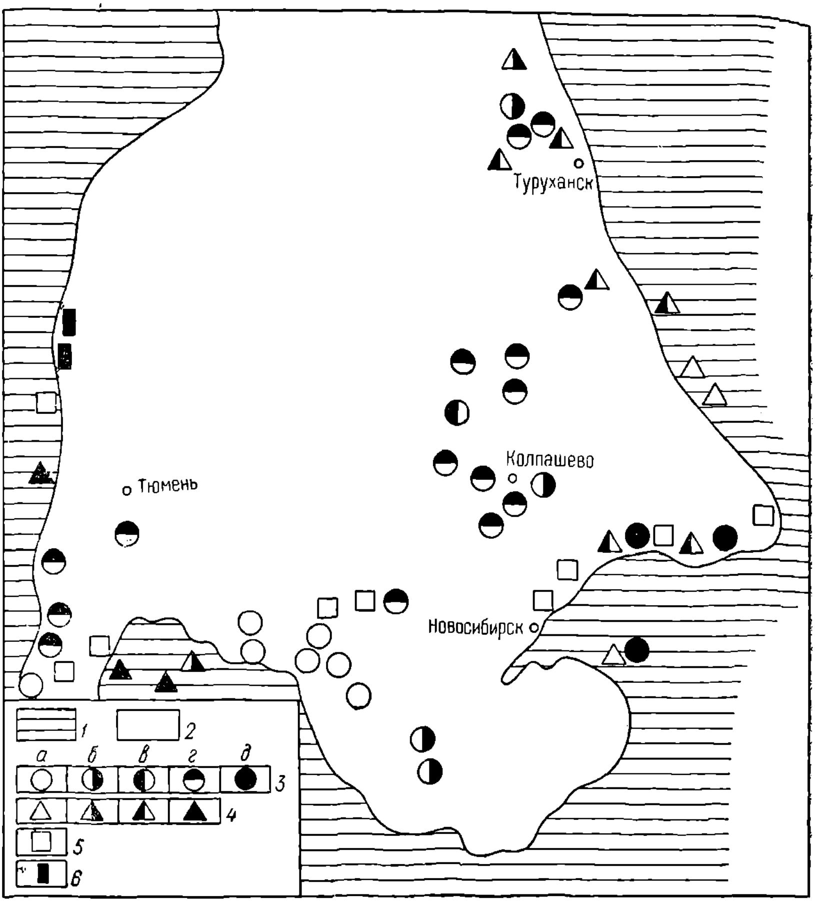


Рис. 21. Схема размещения экзогенных рудных скоплений в мезо-кайнозойских отложениях чехла Западно-Сибирской плиты (по В. П. Казаринову).

1 — континент в период образования руд; 2 — морской бассейн в тот же период; 3 — железные руды: а — средний олигоцен, б — эоцен — палеоцен, в — маастрихт, г — турон — сантон, д — апт–альб; 4 — бокситы: а — эоцен, б — сантон, в — апт — альб, г — апт; 5 — россыпи (средний олигоцен); 6 — марганцевые руды (палеоцен)

за счет терригенных осадков с континента при второстепенной роли вулканического материала.

По его представлениям, толща пелагических океанских илов является гигантским скоплением железа и марганца, напоминающим по своей массе джеспилиты докембрия, но иного облика и, вероятно, иного происхождения.

ВЫВОДЫ

Для разработки литологических предпосылок поискового прогнозирования необходимо: изучение разрезов литоформаций; составление опорных литологических колонок и фациально-лито-

логических профилей, восстанавливающих обстановку образования литоформаций и связанных с ними полезных ископаемых; составление палеолитологических прогнозных карт, на которых должны быть показаны: рельеф областей сноса и накопления, состав областей сноса и возможные древние месторождения полезных ископаемых, палеоклимат, распределение древних рек, наличие очагов вулканизма, тектонический режим континента.

Петрологические предпосылки

Сущность петрологических предпосылок заключается в использовании состава и условий образования магматических и метаморфических пород для прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых. Применительно к магматическим образованиям предпосылки уже давно именуются магматогенными, что вполне оправдано. Применительно к метаморфическим образованиям предпосылки могут быть названы метаморфогенными. Рассмотрим две эти группы раздельно, обратив основное внимание на первую из них.

Магматогенные предпосылки отражают связи эндогенных полезных ископаемых с интрузивными и эффузивными образованиями. Эти связи могут быть геохимическими и петрологическими.

Геохимические связи проявляются в повышенных кларках некоторых элементов в определенных типах магматических пород и в наличии промышленных концентраций этих же элементов в месторождениях, которые связаны с этими породами. Например, наиболее значительные кларки никеля отмечаются в гипербазитах ($2\cdot10^{-1}\%$) и базитах ($1{,}6\cdot10^{-2}\%$); в диоритах они имеют величину $5{,}5\cdot10^{-3}$, в гранитах $8\cdot10^{-4}\%$. Такая закономерность находит свое отражение и в масштабе запасов никеля: в месторождениях, связанных с гипербазитами и базитами, они составляют 80% всех мировых промышленных запасов никеля. Таким образом, прогноз и поиски крупных месторождений никеля должны быть сосредоточены в районах развития интрузивных тел гипербазитов и базитов. Практика поисков, разведки и эксплуатации полностью подтверждает этот вывод и давно его использует. С гипербазитами и базитами кроме никеля связаны месторождения кобальта, хрома, железа, титана, ванадия, скандия, платины и платиноидов.

Для других элементов отмечается постоянная связь их месторождений с интрузивными породами следующих типов: с гранитами биотитовыми и лейкократовыми — литий, бериллий, калий, рубидий, цезий, молибден, олово, вольфрам, тантал; с нефелиновыми сиенитами — натрий, цирконий, гафний, ниобий, редкие земли, стронций, барий, фтор; с диоритами, диоритовыми порфиритами, гранодиорит-порфирами, лампрофирами — медь, цинк, свинец, золото, серебро, кадмий, таллий, галлий, германий, мышьяк, железо, селен, сурьма.

Петрологические связи эндогенных полезных ископаемых с магматическими образованиями определяются условиями формирования магматических тел и генезисом месторождений. В настоящее время существуют два основных направления, рассматривающих по-разному характер петрологических связей [34]. Поскольку эти направления имеют прямое отношение к прогнозу месторождений полезных ископаемых, рассмотрим кратко основные их положения и доказательства.

Представители одного направления считают, что магматические тела, в частности интрузивные, формировались из магматических расплавов, проникших из глубинных магматических очагов в верхние части земной коры. Сопровождающие их рудные месторождения имеют также глубинное происхождение.

Доказательствами основных положений первого направления являются: наличие рудных месторождений одного и того же генетического типа в различных осадочных, метаморфических или вулканогенных породах; зональность в расположении месторождений по отношению к интрузивным телам; наличие положительных геохимических ореолов основных компонентов и их спутников вокруг месторождений и отрицательных ореолов выщелачивания тех элементов, которые содержатся во вмещающих породах в повышенных количествах.

Сторонники другого направления полагают, что магматические расплавы формировались на месте залегания интрузивных тел путем преобразования осадочных и других типов пород постмагматическими глубинными растворами. Источниками рудных компонентов в месторождениях считаются вмещающие породы и частично глубинные растворы. В качестве доказательств выдвигаются: повышенные кларки ряда элементов в определенных типах осадочных или вулканогенных пород, которые рассматриваются первоисточниками рудных месторождений; наличие реликтов структур осадочных и вулканогенных пород внутри интрузивных тел; приуроченность этих тел к определенным стратиграфическим горизонтам вулканогенно-осадочных образований и др.

При дальнейшем изложении, в частности в приведенной ниже группировке эндогенных месторождений, за основу приняты положения первого направления.

Группировка эндогенных месторождений по характеру петрологических связей. Для целей прогноза и поисков выделены три группы эндогенных месторождений по установленным или предполагаемым связям с магматическими образованиями.

Первая группа месторождений (рис. 22, *а*), для которых устанавливается генетическая связь с конкретными интрузивами. В этой группе выделяются месторождения собственно магматические и постмагматические. Магматические месторождения никеля, кобальта, меди, платины, хрома, титана генетически свя-

заны с интрузивами гипербазитов и базитов; магматические месторождения циркония, ниобия и др. генетически связаны с нефелиновыми сиенитами. Постмагматические месторождения олова, вольфрама, молибдена, бериллия и др. генетически связаны с лейкократовыми и аляскитовыми гранитами. Доказательствами генетической связи месторождений с интрузивами являются: наличие месторождений внутри интрузивов и резкое выклинивание их по падению на определенном гипсометрическом горизонте; зональное расположение постмагматических месторождений разных рудных формаций вокруг интрузивов; преемственность

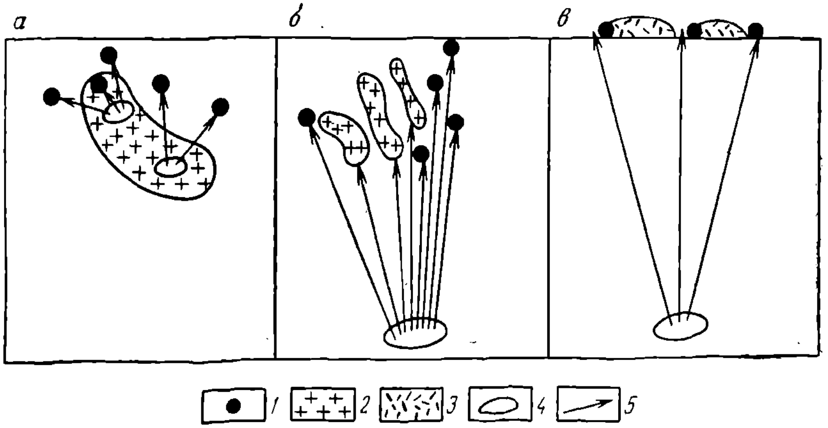


Рис. 22. Схема связи эндогенных месторождений с магматическими образованиями.

а — генетическая связь с интрузивами; *б* — парагенетическая связь с интрузивами; *в* — парагенетическая связь с эффузивами.
1 — месторождения; *2* — интрузивные тела; *3* — эффузивы; *4* — магматические и рудоносные очаги; *5* — векторы связи

минералого-геохимических ассоциаций, наблюдаемых в месторождениях и в самих гранитах; стадийный характер процесса формирования гранитных пород и постмагматического оруденения, отражающийся в проявлении отдельных рудных формаций, разделенных фазами дополнительных интрузивов или жильных пород; тесная связь тектонических структур, контролирующих локализацию рудоносных интрузивов и постмагматических месторождений.

При поисках месторождений первой группы главным объектом прогноза является интрузив, с которым намечается генетическая связь месторождений. Этот объект имеет более значительные размеры и потому может быть быстрее выявлен при проведении поисковых работ. В пределы объекта должна включаться и экзоконтактовая зона, особенно обширная для постмагматических месторождений, связанных с гранитами.

Вторая группа эндогенных месторождений (рис. 22, *б*), для которых предполагается

парагенетическая связь с конкретными интрузивами. К этой группе относятся постмагматические месторождения меди, свинца, цинка, железа, золота и др., для которых предполагается связь с гранитоидами повышенной основности (гранодиоритами), а также интрузиями диоритов, кварцевых диоритов, монцонитов, габбро-диоритов и др. Парагенетическая связь выражается в единстве глубинного источника интрузивных тел и месторождений. Она доказывается близким пространственным их положением; взаимными пересечениями интрузивных тел и оруденения; сходством минералого-геохимических ассоциаций в интрузивах и в рудных образованиях. При поисках месторождений второй группы главным объектом являются структурные зоны, в пределах которых могут совместно присутствовать интрузивные тела и месторождения.

Третья группа эндогенных месторождений (рис. 22, *в*), для которых предполагается парагенетическая связь с вулканогенными формациями. Такая связь отчетливо проявляется для месторождений серы, бора, железа, марганца. В последние годы большое внимание обращается на связь с вулканогенными формациями некоторых типов месторождений меди, свинца и цинка, золота и серебра, олова [156]. В разработке этой проблемы определилось три основных направления. Сторонники первого направления считают ведущими в рудном процессе поверхностные (эффузивные и эффузивно-осадочные) фации определенного состава и возраста [171]. Сторонники второго направления рассматривают в более широком аспекте рудоносность различных фаций вулканического процесса — поверхностных (эффузивных) и глубинных (субвулканических) [90]. Сторонники третьего направления, не отрицая значения вулканогенных формаций для локализации оруденения, уделяют главное внимание связи месторождений с более поздними малыми интрузиями, прорывающими вулканогенные толщи [7, 141].

В целом при поисках месторождений третьей группы прогноз должен ориентироваться на оконтуривание вулканогенных образований определенного состава и возраста (эффузивных, пирокластических, субвулканических) и выделение среди них более поздних интрузивных тел.

Метаморфогенные предпосылки поискового прогнозирования заключаются в использовании состава и условий образования пород, связанных с определенными ступенями регионального метаморфизма. Как известно, в процессе регионального метаморфизма, например пелитовых пород, отмечается определенная его последовательность от низкой к более высокой ступени: зоны хлоритовая, биотитовая, гранатовая, ставролитовая, кианитовая, силлиманитовая.

С этими зонами могут быть связаны полезные ископаемые, например силлиманитовые сланцы, являющиеся возможным сырьем

для получения алюминия. С комплексом или формацией докембрийских железистых кварцитов связаны крупнейшие в мире месторождения железных руд и т. д. Прогноз полезных ископаемых, приуроченных к древним метаморфическим образованиям, требует знания условий их формирования, которые и определяют метаморфогенные предпосылки поискового прогнозирования. Они подробно изложены в хорошо известных работах [55а, 60, 115, 166, 169].

ВЫВОДЫ

Для разработки магматогенных и метаморфогенных предпосылок необходимо детально изучить возраст, состав, геохимические особенности и условия образования магматических и метаморфических комплексов.

Для подготовки карт прогноза требуется составление специальных карт магматических или метаморфических комплексов, отражающих связи с ними полезных ископаемых (рис. 23).

Петрографические предпосылки

Сущность петрографических предпосылок заключается в использовании петрографических и петрофизических свойств горных пород для прогноза и поисков месторождений экзогенных и эндогенных полезных ископаемых. Петрографические свойства горных пород (осадочных, магматических, метаморфических) включают: минеральный и химический состав, текстуры и структуры пород. Эти свойства, в свою очередь, определяют физико-механические и химические свойства горных пород.

Некоторые виды полезных ископаемых экзогенного типа используются в связи с их особыми физическими свойствами, обусловленными характером минеральных агрегатов и химического состава. В этом отношении представляют интерес диатомитовое сырье, бентонитовые глины, облицовочный камень и др. Например, к диатомитовому сырью, которое используется для изготовления специальных поглотителей — фильтров многих веществ или как катализатор при производстве синтетического каучука, предъявляются главным образом требования в отношении химического состава и физического состояния (внешний вид — белый порошок с розовым оттенком; содержание влаги — менее 0,2%; п. п. п. — менее 0,3%; содержание кремнезема — не более 90%, окиси железа — не более 2%). Поскольку некоторые молодые месторождения диатомита приурочены к озерным осадкам северных областей, при прогнозе и поисках ориентируются только на те озерные бассейны, в пределах которых выявляются диатомитовые отложения, удовлетворяющие указанным требованиям в отношении физических и химических свойств.

Прогноз и поиски экзогенных месторождений, связанных с продуктами коры выветривания, предусматривают знание минерального

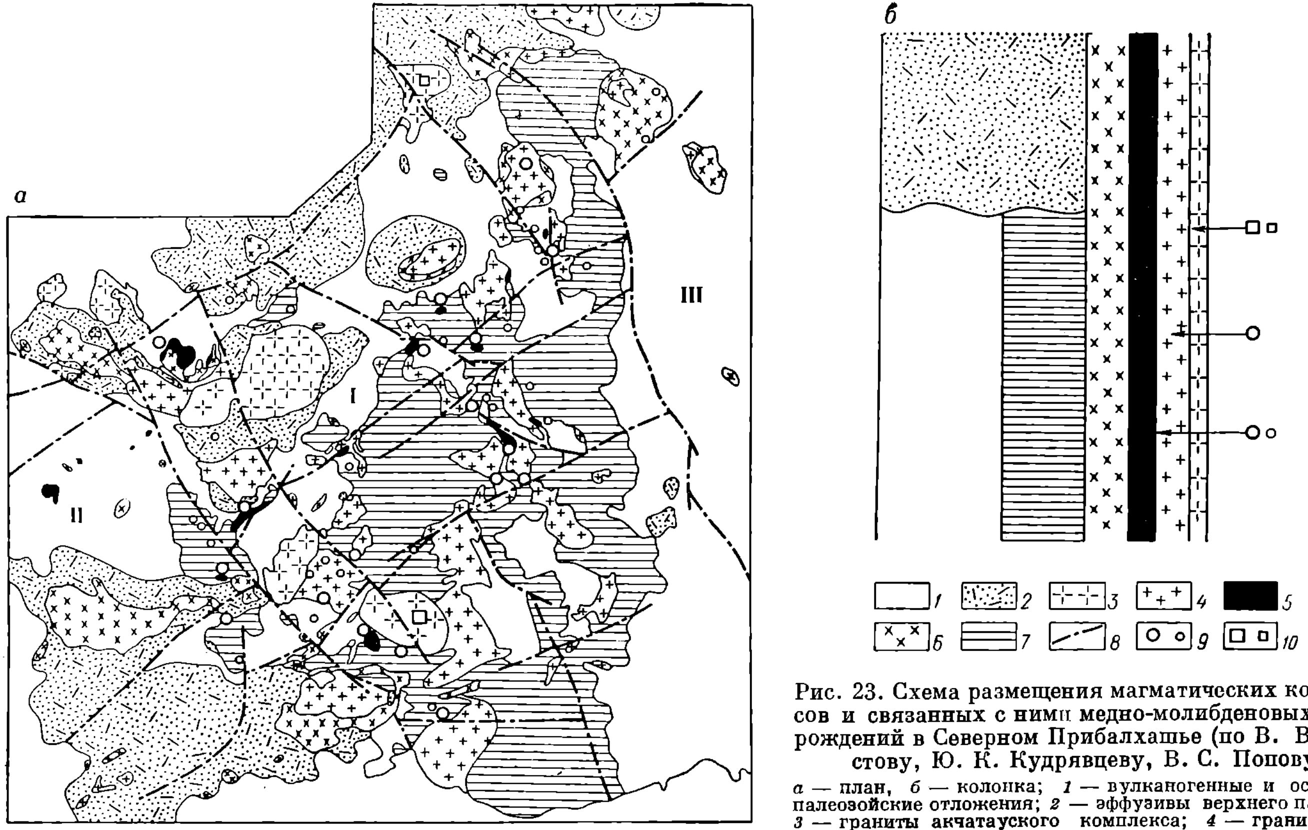


Рис. 23. Схема размещения магматических комплексов и связанных с ними медно-молибденовых месторождений в Северном Прибалхашье (по В. В. Аристову, Ю. К. Кудрявцеву, В. С. Попову).

а — план, *б* — колонка; *1* — вулканогенные и осадочные палеозойские отложения; *2* — эффузивы верхнего палеозоя; *3* — граниты акчатауского комплекса; *4* — граниты калдырминского комплекса; *5* — малые порфировые интрузии; *6* — гранитоиды кокдомбакского комплекса; *7* — гранитоиды балхашского комплекса (C_2); *8* — главные разрывные нарушения. **Месторождения и проявления:** *9* — меднопорфировые (с молибденом); *10* — вольфрамо-молибденовые (с медью). *I* — **Токрауская впадина**, *II* — Кызылэспинское поднятие, *III* — **Балхашское поднятие**

и химического состава пород, послуживших первоисточниками полезных ископаемых.

Рассмотрим пример влияния состава гипербазитов, базитов и нефелиновых сиенитов на образование остаточных месторождений полезных ископаемых (рис. 24). Сопоставление содержаний глинозема, окиси магния и никеля в этих породах позволяет сделать вывод о том, что в коре выветривания гипербазитов могут формироваться остаточные месторождения магния (магнезит) и никеля (силикатный никель); в коре выветривания базитов — в основном месторождения бокситов; в коре выветривания нефелиновых сиенитов — также месторождения бокситов.

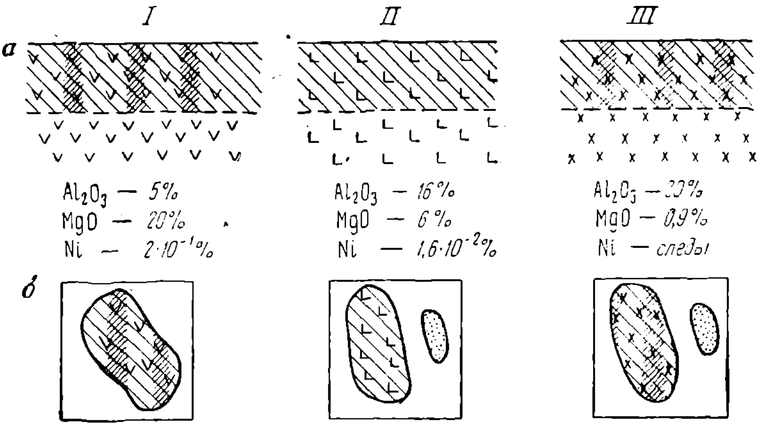


Рис. 24. Схемы, отражающие влияние исходного состава гипербазитов (*I*), базитов (*II*) и нефелиновых сиенитов (*III*) на образование остаточных и осадочных месторождений коры выветривания.

а — разрез; *б* — план. Точки — осадочные месторождения. Редкой штриховкой показана кора выветривания, плотной — остаточные месторождения

Промышленные россыпи тяжелых минералов могут формироваться за счет коренных образований, которые содержали повышенные концентрации акцессорных полезных минералов в интрузивах (гранитах, нефелиновых сиенитов и др.) или повышенные концентрации полезных минералов в рудных телах (кварцевых жилах, грейзенах и др.). При эрозии и разрушении пород, в которых полезные минералы в виде акцессориев имеют небольшие концентрации, обычно образуются не россыпи, а минералогические ореолы и потоки рассеяния.

При прогнозе эндогенных месторождений важными являются физико-механические свойства и химическая активность горных пород, зависящие от их петрографических свойств — минерального и химического состава, текстур и структур. Физико-механические свойства определяют способность горных пород образовывать проницаемые структуры (трещины, брекчии), а также экранирующие преграды для распространения расплавов,

гидротермальных растворов и газовых эманаций. К числу физико-механических свойств, определяемых в горных породах, относятся: объемная масса, пористость (истинная и эффективная), фильтрационный эффект, предел прочности (на сжатие, срез, раскол), модуль упругости, коэффициент Пуассона, модуль сдвига, акустическое сопротивление, коэффициент размягчения и др. Остановимся на рассмотрении роли экранирующих образований для возникновения и сохранения постмагматических месторождений.

Возможно выделить фильтрационные и структурные экраны. Фильтрационные экраны представляют собой непроницаемые или слабопроницаемые для рудоносных растворов

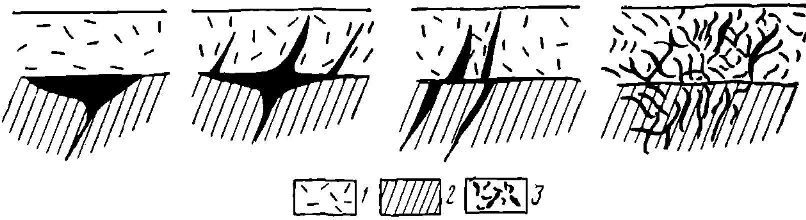


Рис. 25. Влияние экранирующих образований на формирование рудных тел различной морфологии.

1 — фильтрационный экран; 2 — рудовмещающие породы; 3 — руда

породы, например некоторые типы эффузивов, глинистые сланцы, тектонические глинки. По Д. С. Коржинскому [88], коэффициент фильтрационного эффекта показывает, какая часть вещества, первоначально растворенного в просочившемся объеме раствора, прошла вместе с растворителем через фильтр. В грубообломочных породах, не дающих фильтрационного эффекта, этот коэффициент равен 1, а в породах с полной непроницаемостью для данного компонента этот параметр будет равен нулю. Д. С. Коржинский считает, что сужение каналов, по которым течет рудный раствор, или просачивание его через малопроницаемый пласт, может служить причиной концентрированного отложения руд. Влияние фильтрационных экранов на рудоносные растворы зависит и от характера тектонических нарушений, которые проявляются в них и в подстилающих породах. В одних случаях экранирующие породы не были затронуты разрывными нарушениями и тогда они представляют собой почти непроницаемую преграду для растворов [21]. При этом могли возникнуть рудные тела штокообразной, линзообразной или пластообразной формы. В других случаях экраны могли пересекаться разрывами, что обеспечивало проникновение рудных растворов в более верхние горизонты. Создавались жильные или жилообразные рудные тела, а иногда и штокверковые зоны в самих экранирующих породах (рис. 25).

Для выяснения причин разной степени нарушенности экранирующих пород и обоснования прогноза скрытого оруденения важное значение имеет изучение остаточных деформаций, возникающих в горных породах при сжатии. Сопоставление этих параметров в породах Алавердского рудного поля по данным С. У. Вартаняна [29] показывает, что если рудовмещающие породы полностью разрушаются при нагрузке не свыше 1500 кгс/см², то в экранирующих породах при нагрузках 1600—1700 кгс/см² трещиноватость начинает только проявляться. Полное же разрушение экранирующих пород наступает при увеличении нагрузки

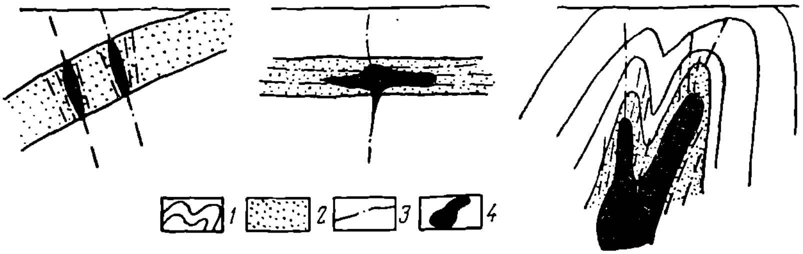


Рис. 26. Структурные экраны, влияющие на морфологию и локализацию эндогенных месторождений.

1 — рудовмещающие породы; *2* — горизонты, благоприятные для развития разрывных нарушений; *3* — разрывные нарушения; *4* — руда

до 2300 кгс/см². Таким образом, при тектонических напряжениях, величина которых не превышала 1500 кгс/см², в разрезе данного рудного поля можно было ожидать полное сохранение фильтрационных экранов (интрузивные альбитофиры, песчаники), в то время как подстилающие породы (кератофиры и их брекчии) должны были полностью разрушиться и превратиться в тектонические брекчии, благоприятные для проникновения рудоносных растворов и отложения руд под экранами.

Структурные экраны представляют собой разрывные нарушения, которые неодинаково проявлены в породах с различными физико-механическими свойствами. Экранирование полезных компонентов происходит здесь на участках перехода разрывных нарушений из одних пород в другие или на участках, где разрывные нарушения в одном из горизонтов ограничены менее нарушенными пластами пород (рис. 26). Сопоставление характера проявления экранирующих образований фильтрационного и структурного типов позволяет считать, что отдельные рудопроявления, располагающиеся в экранирующих образованиях, в некоторых случаях могут являться признаками залегающих на глубине крупных скрытых месторождений; в других случаях большое количество рудопроявлений может свидетельствовать о полном раскрытии рудоконтролирующей системы и об отсутствии на глубине более крупных скрытых рудных скоплений;

и, наконец, могут быть такие случаи, когда небольшие рудопроявления располагаются над крупными рудными залежами «литологического» (по аналогии с нефтяными) типа, приуроченными к горизонту пористых проницаемых пород, которые не перекрыты экранами.

Химическая активность горных пород, наряду с их физико-механическими свойствами, влияет на локализацию эндогенного оруденения. Так, например, в карбонатных породах, относящихся к химически активным породам, располагаются многие месторождения метасоматических руд железа, меди, вольфрама, молибдена, олова, свинца, цинка, ртути. Благоприятными для отложения ряда эндогенных полезных ископаемых являются осадочные породы с прослоями химически активного органического вещества. В них локализуются некоторые постмагматические месторождения золота, урана и других металлов.

ВЫВОДЫ

Для разработки петрографических предпосылок поискового прогнозирования необходимо изучение петрографических свойств горных пород дополнять изучением их физико-механических и химических свойств, а также количественными определениями акцессорных минералов.

Для подготовки карт прогноза требуется составление специализированных карт — петрографических и петрофизических, на которых должны быть отражены площади с близкими петрографическими или петрофизическими свойствами, площади развития пород с повышенными содержаниями определенных минералов или химических элементов.

В качестве примера приведем краткое описание петрофизической карты Кадаинского рудного поля в Забайкалье по дан-

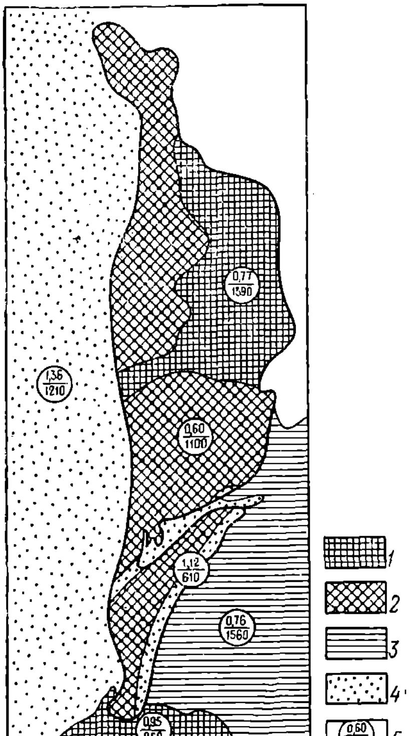


Рис. 27. Петрофизическая карта Кадаинского рудного поля (по Е. И. Филатову [186]).

Распределение значений модуля всестороннего сжатия (в кгс/см²): *1* — > $4{,}5 \times 10^{-5}$ — $< 5{,}5 \cdot 10^{5}$; *2* — $4{,}56 \cdot 10^{-5}$; *3* — $4{,}04 \cdot 10^{-5}$; *4* — $< 3{,}5 \cdot 10^{-5}$; *5* — $\frac{\text{значение эффективной пористости, \%}}{\text{предел прочности на сжатие, кгс/см}}$

ным Е. И. Филатова [186] (рис. 27). Кадаинское рудное поле приурочено к крупному ксенолиту нижнепалеозойских сланцево-карбонатных пород, залегающему среди герцинских гранитоидов. На петрофизической карте показаны модуль всестороннего сжатия, эффективная пористость и предел прочности на сжатие. Как видно из карты, рудовмещающие доломитовые известняки средней пачки характеризуются повышенной по сравнению с другими осадочными породами эффективной пористостью. Предел прочности на сжатие этих известняков, наоборот, весьма незначителен — 610 кгс/см^2, в то время как у доломитов 990, углисто-глинистых сланцев 760, гранитоидов 1200—1560 кгс/см^2. Таким образом, наибольший интерес для поисков свинцово-цинкового оруденения здесь представляют доломитовые известняки, обладающие повышенной пористостью и пониженной прочностью. Поля развития пород с различными значениями модуля всестороннего сжатия позволяют решать вопрос о положении участков, где могли возникать рудоконтролирующие разрывные нарушения. Наиболее благоприятными были, по-видимому, зоны контакта пород с контрастными значениями модуля. Например, максимальные различия модуля всестороннего сжатия характерны для гранитов — доломитов, а также известняков — доломитов. В пределах подобных участков на рудном поле известны месторождения и рудопроявления свинцово-цинковых руд и здесь же могут прогнозироваться слепые рудные тела и залежи.

Геохимические предпосылки и признаки

Сущность геохимических предпосылок и признаков заключается в использовании характера геохимических полей и аномалий для прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых.

Геохимическое поле отражает процесс миграции химических элементов в различных геосферах: литосфере, гидросфере, биосфере и атмосфере. В результате процесса миграции происходит рассеяние или концентрация химических элементов, которая достигает промышленных значений содержаний в месторождениях полезных ископаемых (рис. 28, *а*).

Химические элементы можно разделить на две большие группы: создающие отчетливые геохимические аномалии и не создающие отчетливых геохимических аномалий. В первую группу попадают элементы с низкими кларками, во вторую — элементы с высокими кларками в литосфере. Характер отчетливости (контрастности) геохимических аномалий показан на схеме (рис. 28, *б*), где для примера взяты три элемента: золото и медь, создающие отчетливые аномалии, и железо, не создающее отчетливых аномалий. Для каждого элемента указаны два параметра — кларк и бортовое содержание в промышленных месторождениях. Геохимические аномалии будут находиться в интервале между этими параметрами.

Тела полезных ископаемых, которые не создают отчетливых геохимических аномалий, имеют большие содержания в промышленных месторождениях, что отмечается в естественных обнажениях визуально. Окружающие ореолы рассеяния этих элементов также различимы визуально. Это исключает необходимость

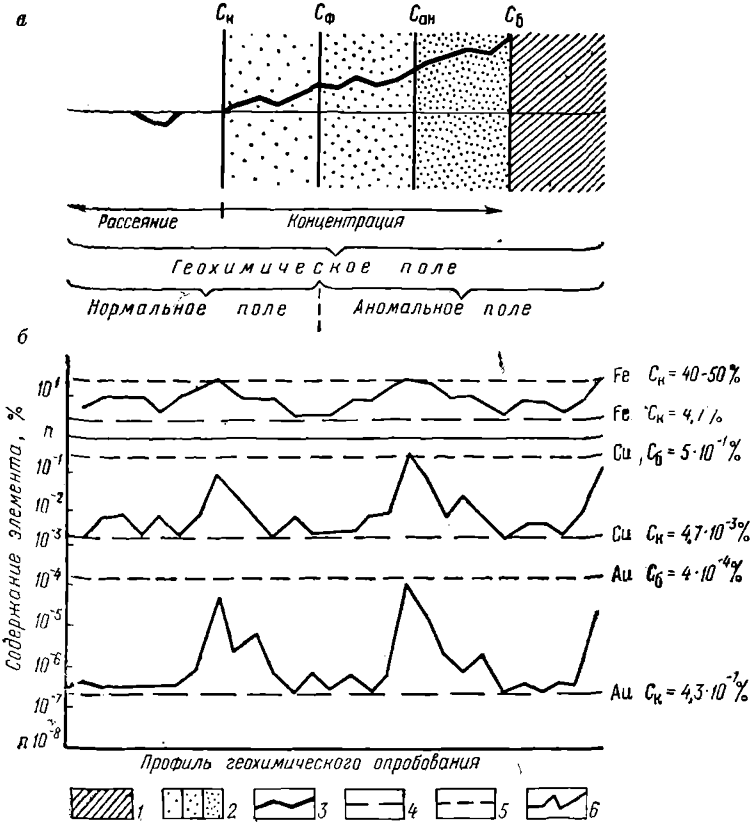


Рис. 28. Схема геохимического поля (*а*) и диаграмма контрастности геохимических аномалий (*б*).

1 — месторождение; *2* — геохимические ореолы с различной концентрацией элементов; *3* — график изменения концентрации. Основные геохимические параметры: $C_к$ — кларк; $C_ф$ — фоновое содержание; $C_{ан}$ — аномальное содержание; $C_б$ — промышленное (бортовое) содержание; *4* — уровень кларков; *5* — уровни промышленных (бортовых) содержаний; *6* — графики изменения содержаний

применять специальные геохимические методы их выявления. Например, для железных руд промышленные содержания колеблются в пределах 40—60%, вмещающие железосодержащие породы содержат 20—30% железа. Тела полезных ископаемых, создающие отчетливые (контрастные) аномалии, имеют весьма незначительные промышленные содержания основных компонентов, которые трудно или невозможно определить визуально. Тем более не-

возможно различить визуально геохимические аномалии. Они выявляются только по данным специальных анализов (медь, золото и др.).

Миграция химических элементов в природных условиях определяется внутренними и внешними факторами. Внутренние факторы связаны с особенностями строения атомов химических элементов, внешние — с условиями миграции (температурой, давлением, энергией). Широко известные геохимические классификации элементов В. И. Вернадского, В. М. Гольдшмидта, А. Е. Ферсмана, А. Н. Заварицкого, используемые геологами для обоснования прогнозов и поисков полезных ископаемых, были составлены на основе существенной перестройки таблицы Д. И. Менделеева. Однако эту таблицу можно использовать для тех же целей без перестройки, но учитывая современные подразделения элементов. В современной интерпретации периодической системы Д. И. Менделеева химические элементы по строению электронных оболочек атомов подразделяются на четыре семейства: *s*, *p*, *d*, *f*. Учитывая положение этих семейств химических элементов в периодической системе, может быть составлена геохимическая поисковая классификация (рис. 29) [10], которая позволяет анализировать характер геохимических полей и аномалий, связанных с различными типами месторождений полезных ископаемых, а также прогнозировать наличие главных и второстепенных элементов в составе определенных генетических типов месторождений и сопровождающих их геохимических ореолах и аномалиях. Например, для экзогенных месторождений солей главные элементы будут относиться к семейству *s* (верхняя часть таблицы — натрий, калий, кальций, магний). К второстепенным элементам, иногда имеющим промышленное значение в некоторых типах месторождений солей, относятся прочие элементы семейства *s* (литий, рубидий, стронций, цезий). Для эндогенных месторождений, имеющих генетическую связь с интрузивами, главные элементы должны находиться в горизонтальных рядах элементов *d* и *f*, а также в вертикальных группах тех же семейств. Второстепенные элементы могут быть обнаружены среди горизонтальных рядов элементов *p* и *s*. Энергетические свойства элементов *d* и *f* обусловливают развитие первичных ореолов и аномалий главных элементов в пределах самих интрузивов или в ближайшей зоне экзоконтакта. Второстепенные элементы *p* и *s* формируют ореолы в экзоконтактовой зоне на более значительном удалении от интрузива.

Типы геохимических полей. По условиям локализации выделяются литогеохимические, гидрогеохимические, биогеохимические, атмогеохимические поля; по концентрации — нормальные и аномальные.

Нормальные геохимические поля отражают характер распределения близких к кларкам содержаний химических элементов в неизмененных породах (литогеохимические поля), в водах (гидрогеохимические поля), в растительном покрове (биогеохими-

ПЕРИОДЫ	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
1	H						1 H 1,00797 ВОДОРОД	2 He 4,0026 ГЕЛИЙ		
2	3 Li 6,939 ЛИТИЙ	4 Be 9,0122 БЕРИЛЛИЙ	5 B 10,811 БОР	6 C 12,01115 УГЛЕРОД	7 N 14,0067 АЗОТ	8 O 15,9994 КИСЛОРОД	9 F 18,9984 ФТОР	10 Ne 20,179 НЕОН		
3	11 Na 22,9898 НАТРИЙ	12 Mg 24,305 МАГНИЙ	13 Al 26,9815 АЛЮМИНИЙ	14 Si 28,086 КРЕМНИЙ	15 P 30,9738 ФОСФОР	16 S 32,064 СЕРА	17 Cl 35,453 ХЛОР	18 Ar 39,948 АРГОН		
4	19 K 39,102 КАЛИЙ	20 Ca 40,08 КАЛЬЦИЙ	21 Sc 44,956 СКАНДИЙ	22 Ti 47,90 ТИТАН	23 V 50,942 ВАНАДИЙ	24 Cr 51,996 ХРОМ	25 Mn 54,9380 МАРГАНЕЦ	26 Fe 55,847 ЖЕЛЕЗО	27 Co 58,9332 КОБАЛЬТ	28 Ni 58,71 НИКЕЛЬ
	29 Cu 63,546 МЕДЬ	30 Zn 65,37 ЦИНК	31 Ga 69,72 ГАЛЛИЙ	32 Ge 72,59 ГЕРМАНИЙ	33 As 74,9216 МЫШЬЯК	34 Se 78,96 СЕЛЕН	35 Br 79,904 БРОМ	36 Kr 83,80 КРИПТОН		
5	37 Rb 85,47 РУБИДИЙ	38 Sr 87,62 СТРОНЦИЙ	39 Y 88,905 ИТТРИЙ	40 Zr 91,22 ЦИРКОНИЙ	41 Nb 92,906 НИОБИЙ	42 Mo 95,94 МОЛИБДЕН	43 Tc [99] ТЕХНЕЦИЙ	44 Ru 101,07 РУТЕНИЙ	45 Rh 102,905 РОДИЙ	46 Pd 106,4 ПАЛЛАДИЙ
	47 Ag 107,868 СЕРЕБРО	48 Cd 112,40 КАДМИЙ	49 In 114,82 ИНДИЙ	50 Sn 118,69 ОЛОВО	51 Sb 121,75 СУРЬМА	52 Te 127,60 ТЕЛЛУР	53 I 126,9044 ИОД	54 Xe 131,30 КСЕНОН		
6	55 Cs 132,905 ЦЕЗИЙ	56 Ba 137,34 БАРИЙ	57 La⊗ 138,91 ЛАНТАН	72 Hf 178,49 ГАФНИЙ	73 Ta 180,948 ТАНТАЛ	74 W 183,85 ВОЛЬФРАМ	75 Re 186,2 РЕНИЙ	76 Os 190,2 ОСМИЙ	77 Ir 192,2 ИРИДИЙ	78 Pt 195,09 ПЛАТИНА
	79 Au 196,967 ЗОЛОТО	80 Hg 200,59 РТУТЬ	81 Tl 204,37 ТАЛЛИЙ	82 Pb 207,19 СВИНЕЦ	83 Bi 208,980 ВИСМУТ	84 Po [210] ПОЛОНИЙ	85 At [210] АСТАТ	86 Rn [222] РАДОН		
7	87 Fr [223] ФРАНЦИЙ	88 Ra [226] РАДИЙ	89 Ac⊗⊗ [227] АКТИНИЙ	104 Ku [264] КУРЧАТОВИЙ						

Обозначение элемента — Li; Атомный номер — 3; Атомная масса — 6939; ЛИТИЙ

В квадратных скобках приведены массовые числа наиболее устойчивых изотопов

⊗ЛАНТАНОИДЫ

58 Ce 140,12 ЦЕРИЙ	59 Pr 140,907 ПРАЗЕОДИМ	60 Nd 144,24 НЕОДИМ	61 Pm [147] ПРОМЕТИЙ	62 Sm 150,35 САМАРИЙ	63 Eu 151,96 ЕВРОПИЙ	64 Gd 157,25 ГАДОЛИНИЙ	65 Tb 158,924 ТЕРБИЙ	66 Dy 162,50 ДИСПРОЗИЙ	67 Ho 164,930 ГОЛЬМИЙ	68 Er 167,26 ЭРБИЙ	69 Tm 168,934 ТУЛИЙ	70 Yb 173,04 ИТТЕРБИЙ	71 Lu 174,97 ЛЮТЕЦИЙ

⊗⊗АКТИНОИДЫ

90 Th 232,038 ТОРИЙ	91 Pa [231] ПРОТАКТИНИЙ	92 U 238,03 УРАН	93 Np [237] НЕПТУНИЙ	94 Pu [244] ПЛУТОНИЙ	95 Am [243] АМЕРИЦИЙ	96 Cm [247] КЮРИЙ	97 Bk [247] БЕРКЛИЙ	98 Cf [252] КАЛИФОРНИЙ	99 Es [254] ЭЙНШТЕЙНИЙ	100 Fm [257] ФЕРМИЙ	101 Md [257] МЕНДЕЛЕВИЙ	102 (No) [255] (НОБЕЛИЙ)	103 (Lr) [256] (ЛОУРЕНСИЙ)

Na 1 P 2 W 3 Ce 4 ⌐⌐ 5 ⊥ 6 ⊖ 7 * 8 ⋏ 9 = 10 ▼ 11 .. 12

▭ 13 ▨ 14 ∨ 15 × 16 + 17 ⨯ 18 △ 19 ◌ 20 ⌐⌐ 21 ○ 22 ○ 23

Рис. 29. Геохимическая поисковая классификация элементов на основе периодической системы Д. И. Менделеева (**составлена В. В. Аристовым и С. В. Тихомировым**).

Семейства химических элементов по строению электронных оболочек:

1 — элементы, у которых последней заполняется внешняя энергетическая орбиталь *s* (сильно подвижные в различных условиях) *2* — эементы, у которых последней заполняется внешняя энергетическая орбиталь *p* (подвижные в растворах); *3* — элементы, у которых последней заполнятся внутренняя энергетическая орбиталь *d* (слабо подвижные в растворах, более подвижные в расплавах, за исключением некоторых элементов I и II групп, а также Mn, Fe, Co, Ni, U); *4* — элементы, у которых последней заполняется внутренняя энергетическая орбиталь *f* (подвижность подобна семейству *d*). Геохимические ассоциации элементов, имеющие поисковое значение: *5* — элементы, концентрация которых происходит преимущественно в экзогенных условиях с образованием промышленных месторождений — *6* — седиментационных, *7* — седиментационно-диагенетических, *8* — органогенных, *9* — инфильтрационных, *10* — подземных рассолов, *11* — коры выветривания, *12* — россыпных; *13* — элементы, концентрация которых происходит преимущественно в эндогенных условиях с образованием промышленных месторождений — *14* — генетически связанных с интрузивами: *15* — гипербазитов и базитов, *16* — нефелиновых сиенитов, *17* — гранитов, *18* — парагенетически связанных с интрузивами гранитоидов повышенной основности (гранодиоритами, диоритами), *19* — парагенетически связанных с эффузивами, *20* — пространственно не связанных с магматическими образованиями (низкотемпературные); *21* — элементы, концентрация которых происходит как в экзогенных, так и в эндогенных условиях с образованием промышленных месторождений. Элементы, не создающие отчетливых геохимических аномалий в литосфере: *22* — кларк элемента *n*%, *23* — кларк элемента 0,*n*%

ческие поля) и в атмосфере (атмогеохимические поля). Аномальные геохимические поля, выделяемые на фоне нормальных, являются конкретным выражением предпосылок поискового прогнозирования месторождений полезных ископаемых. Аномальные геохимические поля включают геохимические аномалии и ореолы рассеяния, которые представляют собой прямые признаки прогноза ископаемых. При этом имеется в виду, что геохимическая аномалия — это любое отклонение в содержаниях и распределении элементов от нормального поля, геохимический ореол — это отклонение, связанное непосредственно с конкретным месторождением или проявлением полезного ископаемого.

Аномальные геохимические поля по масштабу проявления разделяются на планетарные, региональные, локальные; по генезису — на эндогенные, экзогенные, метаморфогенные.

Планетарные геохимические аномальные поля представляют собой геохимические пояса, охватывающие значительные территории планеты. Они объединяют области развития месторождений и проявлений определенных видов полезных ископаемых. Примерами таких планетарных геохимических аномальных полей эндогенного типа являются Тихоокеанский и Средиземноморский рудные пояса (рис. 30). Планетарные геохимические аномальные поля экзогенного типа представлены поясами угленакопления, солеобразования, бокситообразования, фосфоритообразования и др.

Региональные геохимические аномальные поля являются составной частью планетарных полей и представляют собой геохимические провинции и зоны развития определенных видов полезных ископаемых, связанные с региональными

структурами земной коры. Примерами региональных геохимических провинций эндогенного типа могут служить рудные провинции Северо-Востока СССР, Забайкалья и др., выделяемые внутри Тихоокеанского пояса; провинции Малого Кавказа, выделяемые внутри Средиземноморского пояса.

Л о к а л ь н ы е г е о х и м и ч е с к и е а н о м а л ь н ы е п о л я имеют основное значение для прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых. Эти поля включают геохимические аномалии и ореолы рассеяния, являющиеся поисковыми

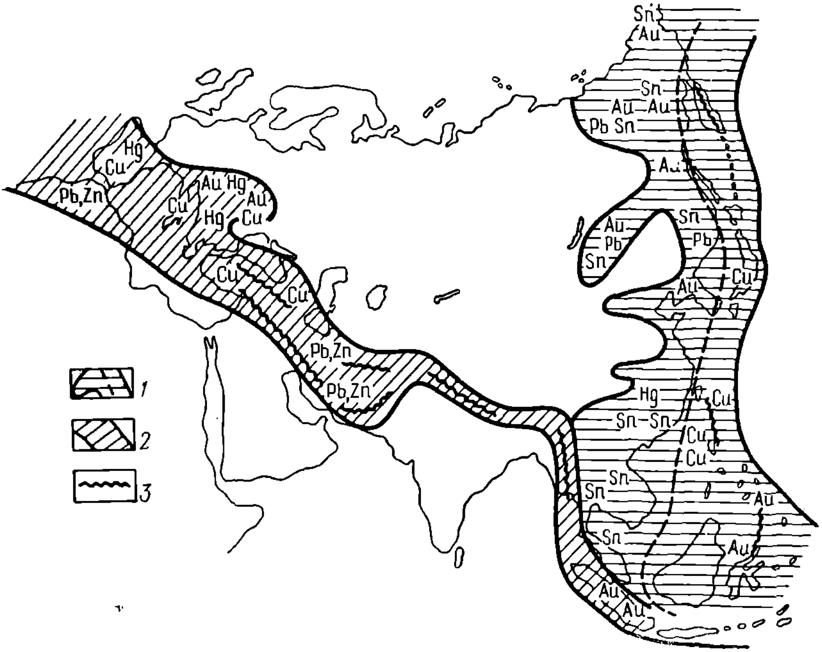


Рис. 30. Схема сочленения Средиземноморского и Тихоокеанского рудных поясов (по Е. А. Радкевич).

1 — Тихоокеанский рудный пояс (пунктир — границы внешней и внутренней зон); 2 — Средиземноморский рудный пояс; 3 — зоны гипербазитов и базитов

признаками месторождений. При изучении геохимических аномалий и ореолов необходимо учитывать следующие их главные параметры: элементы-индикаторы месторождений (главные элементы и элементы-спутники), генетический тип ореолов, морфологию и размеры, зональность, уровень эрозионного вскрытия, соотношение первичных и вторичных аномалий и ореолов. Главные элементы геохимических аномалий и ореолов соответствуют ведущим элементам в рудных телах месторождений, элементы-спутники — второстепенным элементам. Например, в геохимическом ореоле медноколчеданного месторождения главными элементами-индикаторами будут медь и цинк, элементами-спутниками — свинец и ртуть. В геохимических ореолах оловорудных

месторождений сульфидно-касситеритовой формации главным элементом является олово, элементами-спутниками — цинк, медь.

Генетический тип геохимического ореола определяется процессами образования месторождений или их разрушения. Эндогенные первичные геохимические ореолы, сопровождающие эндогенные месторождения, могли формироваться двумя способами — диффузионным и инфильтрационным. При диффузионном способе растворенные вещества перемещались от участков с высокой концентрацией к участкам с малой концентрацией. Возникавшие ореолы рассеяния имели обычно небольшую мощность. При инфильтрационном способе геохимические ореолы формировались в процессе просачивания растворов через проницаемые зоны (пористые породы, трещины, крупные разрывные нарушения). Основным фактором, определяющим развитие таких ореолов, являлась энергия растворов. В связи с этим и параметры таких ореолов более значительные по сравнению с ореолами диффузионного типа. Если на пути проницаемой зоны, по которой циркулировали растворы, возникал барьер (экранирующее образование), то в нем происходило образование ореолов диффузионного типа. Вообще же первичные ореолы рассеяния, сопровождающие эндогенные месторождения, обычно формируются сложным путем, который отражает сочетание и диффузионного, и инфильтрационного способов образования.

При разрушении эндогенных месторождений возникают вторичные экзогенные геохимические ореолы и аномалии в коре выветривания, в рыхлых отложениях, в водах (поверхностных и подземных), в растительном покрове, который усваивает некоторые химические элементы, в подпочвенном воздухе и в приповерхностной атмосфере.

Классификация геохимических ореолов и аномалий, сопровождающих эндогенные месторождения, приведена в табл. 13. Рассмотрим некоторые особенности геохимических ореолов рассеяния, выделенные в указанной классификации.

Литогенные (литогеохимические) ореолы в коренных породах. Магматические месторождения, генетически связанные с конкретными интрузивами, создают эндогенные (первичные) ореолы в самих интрузивных телах и в ближайшей зоне экзоконтакта. При этом элементы семейства *d* формируют ореолы внутри интрузива, элементы семейства *d* первой и второй групп, а также семейств *p* и *s* образуют ореолы в зоне экзоконтакта. Например, на месторождениях медно-никелевых руд ореолы никеля сосредоточены главным образом в самих интрузивах гипербазитов или базитов вблизи промышленных рудных тел. На флангах месторождения отмечаются ореолы меди и некоторых других элементов (цинк, свинец). На месторождениях вольфрама ореолы вольфрама концентрируются главным образом внутри гранитного интрузива; ореолы лития и других элементов — не только в интрузиве, но

Таблица 13

Классификация геохимических ореолов и аномалий, сопровождающих эндогенные месторождения полезных ископаемых

По генезису, концентрации, условиям залегания	По условию локализации (по объекту опробования)			
	Литогенные (литогеохимические)	Гидрогенные (гидрогеохимические)	Биогенные (биогеохимические)	Атмогенные (атмогеохимические)
По генезису Эндогенные (первичные) геохимические ореолы и аномалии	В коренных породах, вмещающих эндогенные месторождения генетически связанные с интрузиями: магматические; контактово-метасоматические; постмагматические; парагенетически связанные с интрузиями постмагматические месторождения; постмагматические не имеющие видимой связи с интрузиями	В современных гидротермах	—	В подпочвенном воздухе и приповерхностной атмосфере — газы и эманации эндогенного происхождения
Экзогенные (вторичные) геохимические аномалии, ореолы и потоки рассеяния	В коре выветривания эндогенных месторождений В рыхлых отложениях, содержащих продукты разрушения эндогенных месторождений: элювиально-делювиальных (крупноглыбовых, щебенистых, песчано-глинистых); аллювиальных (илистые фракции донных осадков); ледниковых (валунах, моренах); прибрежно-морских отложениях (песках, илах)	В поверхностных водах В подземных водах	В растительном покрове	В подпочвенном воздухе и приповерхностной атмосфере — газы и эманации экзогенного происхождения, связанные с изменением месторождений
По концентрации *	При $C_x > C_{ан}$ — контрастное аномальное геохимическое поле (собственно геохимическая аномалия) При $C_ф < C_x < C_{ан}$ — слабо контрастное аномальное поле При $C_x < C_ф$ — очень слабо контрастное аномальное геохимическое поле			
По условиям залегания	Выходящие на поверхность геохимические ореолы и аномалии. Скрытые: погребенные или слепые геохимические ореолы и аномалии			

* C_x — среднее содержание элемента определенной зоны аномалии и ореола; $C_ф$ — фоновое содержание элемента; $C_{ан}$ — аномальное содержание элемента.

и в зоне его экзоконтакта (рис. 31). Постмагматические месторождения, парагенетически связанные с интрузивами, сопровождаются геохимическими ореолами во вмещающих породах за пределами интрузивов в единых с ними структурных зонах. Примеры таких месторождений многочисленны (медные, свинцово-цинковые, золотые и др.). Для ореолов этих месторождений

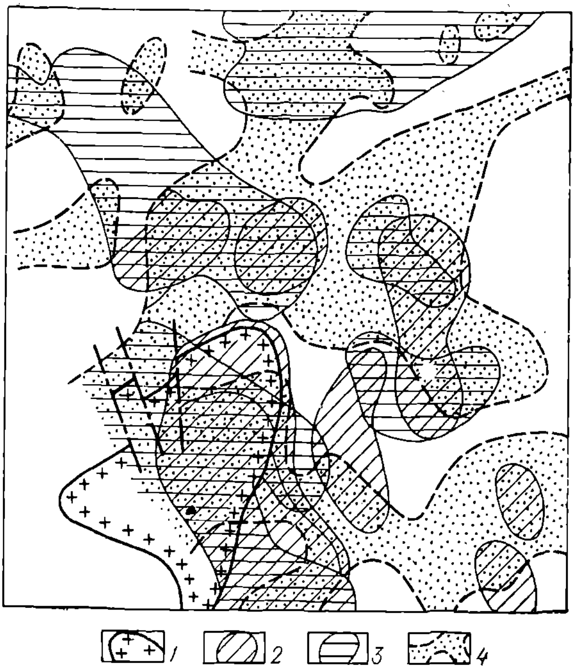


Рис. 31. Зональность эндогенных ореолов вольфрама, лития и фтора по отношению к гранитному интрузиву в плане (по И. Я. Смульскому и В. В. Аристову).

1 — гранитный интрузив в песчано-сланцевой толще; эндогенные ореолы: 2 — вольфрама, 3 — лития, 4 — фтора

характерна зональность по отношению к рудным телам (рис. 32), в которой отмечается распределение элементов по отдельным семействам. Постмагматические месторождения, не имеющие видимой связи с конкретными интрузивами, также сопровождаются отчетливыми геохимическими ореолами. Это, например, относится к низкотемпературным месторождениям меди, свинца и цинка, сурьмы и ртути. Все эти элементы относятся к семействам *d* первых групп, или *p*, что определяет развитие геохимических ореолов во вмещающих породах, особенно над рудными телами (рис. 33).

Экзогенные (вторичные) литогеохимические ореолы формируются в коре выветривания и в рыхлых отложениях.

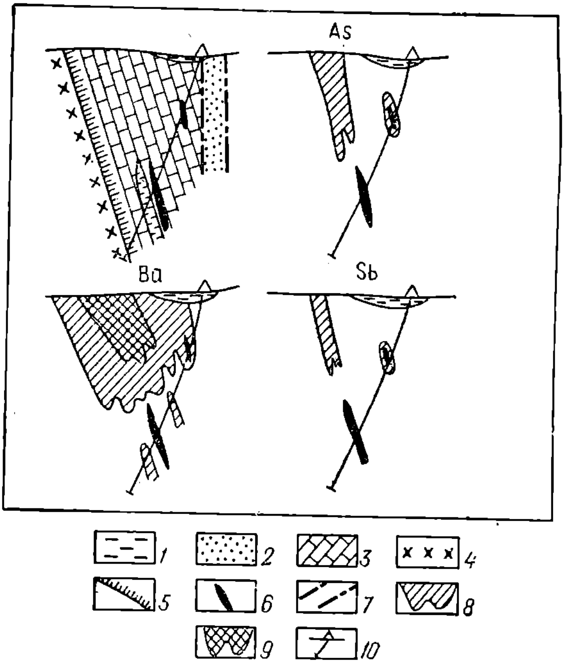


Рис. 32. Эндогенные ореолы мышьяка, бария и сурьмы в надрудной части слепых свинцово-цинковых рудных тел (по Л. Н. Овчинникову, С. В. Григоряну и Э. Н. Баранову).

1 — четвертичные отложения; *2* — песчаники; *3* — известняки; *4* — диориты; *5* — скарны; *6* — рудные тела; *7* — разрывные нарушения; первичные ореолы: *8* — с концентрацией менее 10 гф, *9* — с максимальной концентрацией — более 10 гф (геохимический фон); *10* — скважины

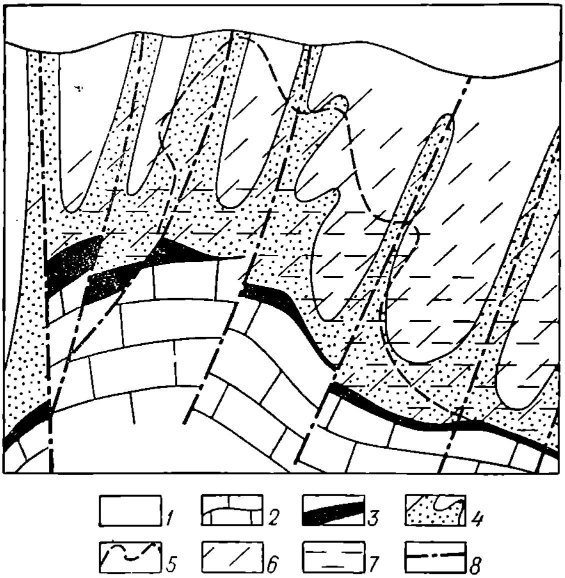


Рис. 33. Зональность эндогенных ореолов над месторождением сурьмы в разрезе (по Н. А. Никифорову).

1—перекрывающие сланцы; *2* — подстилающие известняки; *3* — рудовмещающие джаспероиды; ореолы: *4* — сурьмы и ртути, *5* — мышьяка, *6* — серебра, *7* — олова и молибдена; *8* — разрывные нарушения

В коре выветривания возникают ореолы в связи с перераспределением содержаний элементов в процессе воздействия на первичные руды экзогенных факторов. При этом в коре выветривания месторождений устойчивых элементов (семейства *d*) первичные ореолы претерпевают незначительные изменения (рис. 34, *а*), в то время

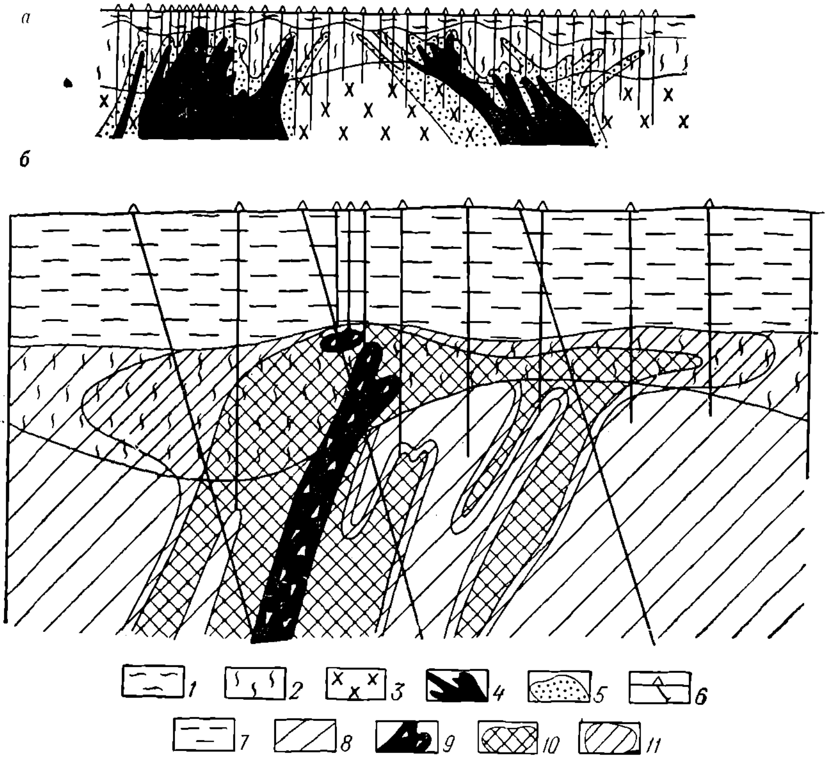


Рис. 34. Экзогенные литогеохимические ореолы в коре выветривания
(По А. Н. Фокину и др.)

а — эндогенного месторождения, руды которого состоят из элементов, устойчивых в экзогенных условиях; *б* — эндогенного месторождения, руды которого представлены относительно подвижными элементами.

1 — суглинки; *2* — кора выветривания; *3* — нефелиновые сиениты; ореолы циркония: *4* — 0,05—0,10%, *5* — 0,035—0,05%, *6* — скважины; *7* — платформенный чехол; *8* — кристаллический фундамент; ореолы с различной концентрацией молибдена: *9* — высокой, *10* — средней, *11* — низкой

как в коре выветривания месторождений более подвижных элементов семейств *s*, *p* и *d* (первых групп) формируются вторичные ореолы более мощные, нежели в первичной зоне (рис. 34, *б*). В рыхлых отложениях четвертичного возраста образуются геохимические ореолы, связанные с продуктами разрушения эндогенных месторождений. В зависимости от генетического типа рыхлых отложений параметры вторичных ореолов различны (рис. 35).

Гидрогенные (гидрогеохимические) первичные ореолы и аномалии могут быть связаны с современными гидротермами, которые иногда являются источниками некоторых полезных ископаемых (сера, бор и др.). По данным А. М. Овчинникова [119], в районах современной вулканической

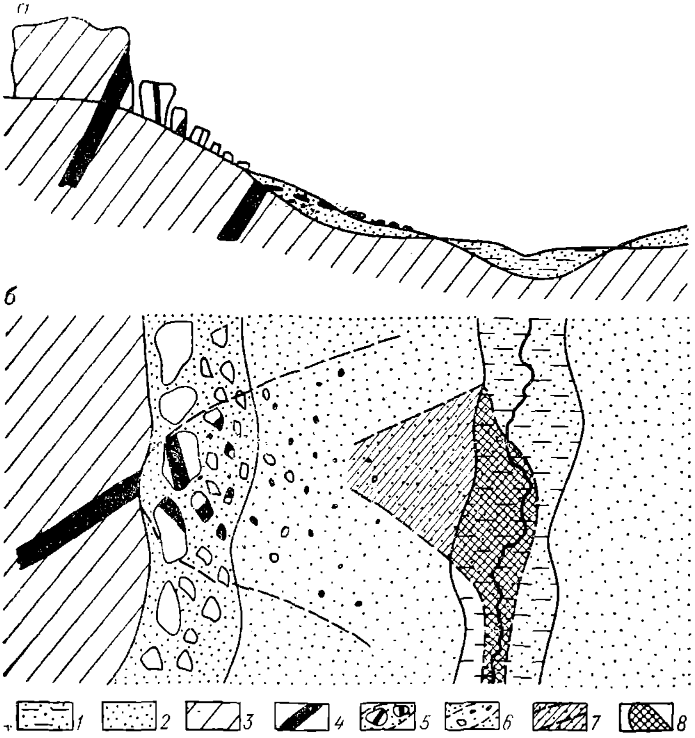


Рис. 35. Экзогенные геохимические ореолы в рыхлых четвертичных отложениях, содержащих продукты разрушения эндогенного месторождения.

а — план, *б* — разрез.
1 — аллювий; 2 — делювий; 3 — коренные породы; 4 — рудные тела; минералогические и литогеохимические ореолы: 5 — в элювии, 6 — в делювии (погребенные), 7 — в делювии (на поверхности), 8 — в аллювии (потоки рассеяния)

деятельности формируются ореолы кислых сероводородно-углекислых фумарольных терм, питающихся неглубокими водами, а также азотно-углекислые высокотермальные воды, образующиеся на больших глубинах. В озерах, питающихся за счет отмеченных типов термальных вод, могут накапливаться бороносные отложения, сопровождаемые ореолами с повышенными содержаниями бора. Вторичные гидрогеохимические ореолы рассеяния характерны для поверхностных и подземных вод тех районов, где встречаются месторождения полезных ископаемых, элементы которых способны переходить в водные растворы. Гидро-

геохимические ореолы отличаются от литогеохимических значительно меньшей концентрацией химических элементов. Например, кларк меди в литосфере $4{,}7 \cdot 10^{-3}\%$, а в водах аномальной зоны, связанной с месторождением, содержание меди $4—5 \cdot 10^{-4}$ при фоновом $1—5 \cdot 10^{-5}\%$.

По данным А. М. Овчинникова [119], ореолы рассеяния рудных элементов в водных потоках имеют различную форму, зависящую от направления движения воды (рис. 36). Гидрогеохимические ореолы могут представлять собой важные поисковые признаки особенно месторождений, скрытых на некоторой глубине от современной поверхности.

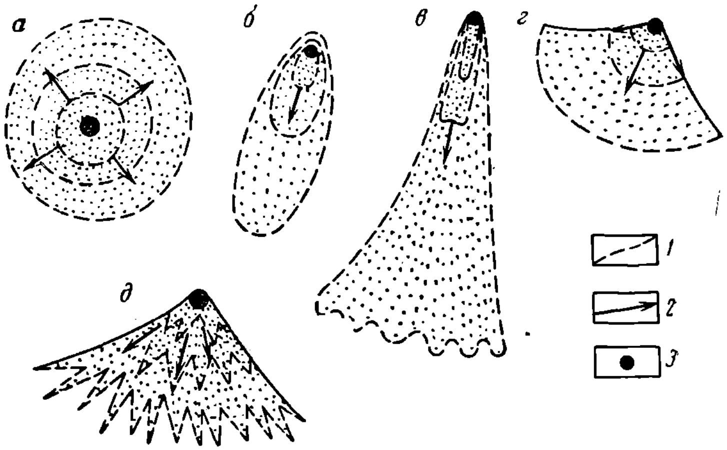


Рис. 36. Форма гидрогеохимических ореолов (по А. М. Овчинникову).

а — ореол в стоячих и малоподвижных водах; *б* — ореол вытянут в форме эллипса по направлению сноса элемента и движения воды; *в* — шлейф (наиболее хорошо выраженный водный поток); *г* — сектор; *д* — веер.
1 — изолинии концентрации рудных элементов; *2* — направление движения воды; *3* — рудное тело

Биогенные (биогеохимические) ореолы и аномалии формируются в растительном покрове. Типоморфные элементы живого вещества — углерод, водород, азот, кислород — составляют в сумме 98% массы растений. Все остальные элементы являются второстепенными, поглощаемыми растениями в незначительных количествах в соответствие с коэффициентом биологического поглощения [133]:

$$\eta = \frac{C_x\,(\text{содержание в золе})}{C_\text{к}\,(\text{содержание в литосфере})}.$$

Этот коэффициент колеблется от $0{,}00n$ до $n \cdot 100$. Содержания микроэлементов в золе растений очень низкие даже в пределах рудного поля по сравнению с кларками в подстилающих горных породах. Например, габбро имеет кларк меди $1{,}6 \cdot 10^{-2}\%$, а в золе растений над рудными телами одного из участков, приуроченного

к габбро, содержание меди всего $1 \cdot 10^{-3}$%, за пределами рудного поля в золе растений над габбро $1 \cdot 10^{-4}$%. В связи с низкими содержаниями рудных элементов в растениях биогеохимические ореолы рассеяния могут иметь весьма ограниченное применение для прогноза и поисков рудных месторождений. Более интересными являются растения-индикаторы определенных химических элементов, различимые визуально при проведении полевых поисковых работ. К таким растениям, например, относятся цинковая, или галмейная фиалка (*Viola calaminaria*), качим (*Gypsophila patrinii*) и ряд других [182].

Важное значение для геологического картирования и поисков полезных ископаемых имеют геоботанические аномалии, представляющие собой преимущественное развитие определенных видов и форм растений на горных породах одного и того же типа. Например, сосна растет в основном на песчаных почвах, береза и осина — на глинистых и т. д. Различия подобного рода полно отражаются на аэроснимках, дешифрирование которых позволяет выделять площади, благоприятные и для накопления некоторых полезных ископаемых [31].

Атмогенные (атмогеохимические) ореолы и аномалии могут быть первичными и вторичными. По значению для прогноза эндогенных месторождений следует выделять две группы атмогенных ореолов и аномалий, рассматриваемых как: 1) предпосылки поискового прогнозирования; 2) признаки поискового прогнозирования.

Предпосылками прогноза могут быть аномалии тех газов и эманаций, проявления которых связаны с тектоническими разрывными структурами или определенными породами, вмещающими или контролирующими размещение месторождений. В аномалиях подобного типа обнаруживаются углекислый газ, водород, гелий, метан. Например, по данным Н. Н. Куликовой [97], скрытые золоторудные тела одного из месторождений Забайкалья фиксируются по аномалиям углекислого газа, выделение которого здесь связано с разрывными нарушениями. На ртутных месторождениях Кавказа, по данным А. И. Фридмана [187], отмечаются проявления углекислого газа, связываемого с очагами гидротермальной деятельности, и метана, связываемого с вмещающими и подстилающими породами. Газовые аномалии приурочены к зонам разломов, контролирующим ртутное оруденение.

Аномалии гелия также могут быть использованы как предпосылки поискового прогнозирования. По данным А. Н. Еремеева и др. [61], гелий в недрах образуется в результате альфа-распада атомов некоторых элементов. Наиболее интересной формой его существования является свободный подвижный гелий в системах сообщающихся пор и трещин, мигрирующий в поверхностных и подземных водах.

Аномальные поля гелия приурочены к проницаемым зонам молодой трещиноватости, расположенным вдоль контактов же-

стких блоков, представленных интрузивами и другими геологическими образованиями. Резко дискретное поле гелия с колебаниями концентраций в пределах 5—6 порядков является признаком таких зон, что позволяет прогнозировать рудные поля и участки эндогенных месторождений.

Вторая группа атмогенных аномалий относится к поисковым признакам, непосредственно указывающим на наличие месторождений некоторых полезных ископаемых. В. З. Фурсов [189] отмечает, что главной задачей в становлении и развитии газовых методов является изучение возможностей использования паров элементов и элементов-спутников для поисков рудных месторождений. По данным В. З. Фурсова, с помощью высокочувствительной аппаратуры были, например, установлены аномалии паров ртути интенсивностью $30—50 \cdot 10^{-9}$ мг/л при фоне $10—20 \times 10^{-9}$ мг/л над погребенными рудными телами с киноварью месторождения Чонкой в Киргизии (рис. 37). Атмогеохимические ореолы ртути нередко фиксируются на месторождениях других руд, где ртуть является элементом-спутником. По данным В. З. Фурсова, в подавляющем большинстве рудных месторождений среднее содержание ртути в 3—70 раз больше среднего содержания ее во вмещающих горных породах. Наибольшие содержания ртути отмечаются в рудах колчеданных ($453 \cdot 10^{-6}$%) и телетермальных ($227 \cdot 10^{-6}$%) месторождений. В то же время среднее содержание ртути в горных породах изменяется от 4,2 до $6,7 \cdot 10^{-6}$%.

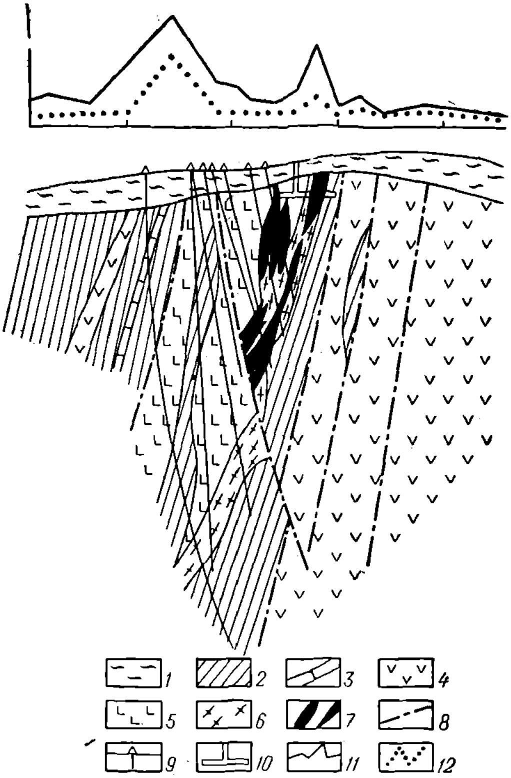


Рис. 37. Аномалии паров ртути над месторождением Чонкой (по В. З. Фурсову).

1 — суглинки; *2* — сланцы; *3* — известняки; *4* — эффузивы; *5* — серпентиниты; *6* — лиственниты; *7* — рудные тела; *8* — разрывные нарушения; *9* — скважины; *10* — шурф; *11* — график концентрации паров ртути; *12* — график концентрации ртути в твердой фазе

В связи с намечающимся развитием использования газовых аномалий для поисков эндогенных месторождений интересно также

отметить, что во всех рудах устанавливаются те или иные газы, содержание которых колеблется от десятых долей до десятков миллиграммов на 1 кг руды. По данным Л. Н. Овчинникова и др. [100], в составе газов из руд установлены: азот — во всех анализируемых пробах, углекислый газ — в 67% проб, водород — в 35% проб, метан редок, сероводород — в единичных пробах, хлор — во всех пробах. Характерно присутствие хлора, например, в пирите Джетыгаринского золоторудного месторождения до 600 мл/кг.

ВЫВОДЫ

Наиболее распространенными для прогноза месторождений полезных ископаемых, особенно эндогенного типа, являются литогенные (литогеохимические), ореолы и аномалии; представляют интерес гидрогенные (гидрогеохимические), перспективны в будущем атмогенные (атмогеохимические) ореолы и аномалии; наименее эффективны для использования биогенные (биогеохимические) ореолы и аномалии. Среди них для прогноза и поисков имеют значение собственно геоботанические, основанные на использовании растений индикаторов.

Разработка геохимических предпосылок и признаков поискового прогнозирования месторождений полезных ископаемых должна осуществляться с учетом геохимических особенностей семейств элементов (*s*, *p*, *d*, *f*) и факторов их миграции (внутренних и внешних). Общими предпосылками прогноза являются планетарные и региональные аномальные поля: геохимические пояса и провинции, в пределах которых ведутся поиски месторождений определенных элементов. Поисковыми признаками, указывающими на положение возможных месторождений, являются локальные геохимические поля, включающие ореолы рассеяния и аномалии.

Для подготовки карт прогноза должны составляться геохимические карты в различных вариантах, на которых отражаются геохимические поля, ореолы и аномалии.

Минералогические предпосылки и признаки

Сущность минералогических предпосылок и признаков заключается в использовании характера минералогических полей и аномалий для прогноза и поисков полезных ископаемых.

Минералогическое поле — это часть литосферы, в пределах которой минералы полезных ископаемых и их спутников распределены в определенных соотношениях. Минералогическое поле отражает процессы образования и изменения минералов в эндогенных и экзогенных условиях, в результате которых возникают те или иные минеральные ассоциации.

Условия формирования минералогических полей определяются общими законами кристаллографии, кристаллохимии, геохимии и минералогии. В соответствии с ними разрабатываются класси-

фикации минералов, представляющие интерес для прогноза и поисков полезных минералов.

В современных минералогических классификациях выделяются следующие основные классы минералов: самородные элементы; сульфиды и сульфосоли; галогениды, окислы и гидроокислы; силикаты; бораты; фосфаты, арсенаты, ванадаты; вольфраматы и молибдаты; сульфаты; хроматы; карбонаты; нитраты и иодаты. Последовательность расположения этих классов минералов отражает не только геохимические и кристаллохимические принципы классификации, но и общую тенденцию накопления минеральных ассоциаций в различных условиях — от преобладающего значения эндогенных к преобладающему развитию экзогенных условий. Каждый класс минералов отражает, кроме того, устойчивость минеральных ассоциаций в эндогенных и экзогенных процессах, что имеет прямое отношение к характеру минералогических полей и аномалий.

Однако для целей прогноза и поисков полезных ископаемых необходимо учитывать и некоторые другие свойства минералов. К ним, например, относится возможность использования их в промышленности без существенного изменения природной минеральной формы или путем извлечения из минералов химических элементов. В этом отношении удобна классификация И. Ф. Романовича [154], в которой выделяются следующие классы и группы месторождений твердых полезных ископаемых (порядок расположения классов изменен в целях более удобного использования).

1. Месторождения минералов, включающие группу месторождений кристаллов (слюда, асбест, пьезооптическое сырье, алмазы, драгоценные камни) и группу месторождений собственно минералов, в оценке которых ведущую роль играют: химический состав (полевой шпат, магнезит, диопсид, волластонит); физические свойства (графит, корунд, краски, маршаллит); в равной степени химический состав и физические свойства (тальк, пирофиллит, каолин, барит, витерит).

2. Месторождения горных пород, включающие группу строительных материалов и пород как химического сырья, в оценке которых ведущую роль играют: химический состав (каменная соль, гипсы, ангидриты, динасовое сырье, трассы, пуццоланы, породы для каменного литья); физические свойства (граниты, гнейсы, декоративные камни, гравий, песок, кровельные сланцы, пемза, мраморы, перлиты); в равной степени химический состав и физические свойства (глины, карбонатные породы, диатомиты, трепелы, опоки). Во вторую группу включены также месторождения твердых горючих ископаемых — торф, каменные и бурые угли, горючие сланцы, нафтиды.

3. Месторождения элементов, включающие группы месторождений: железа и металлов его сплавов; цветных металлов и металлов их сплавов; благородных металлов; радиоактивных

элементов; химического сырья (B, N, F, P, S, As, Cl, Br, I, K, Na); рассеянных элементов (Ga, Ge и др.).

Месторождения каждого из указанных классов имеют свои особенности сопровождающих их минералогических аномалий, выделяющихся на фоне минералогических полей. Причем первые два класса, включающие месторождения минералов и горных пород, имеют много общих черт, которые существенно отличают их от месторождений элементов. Но, с другой стороны, месторождения горных пород отличаются от месторождений минералов

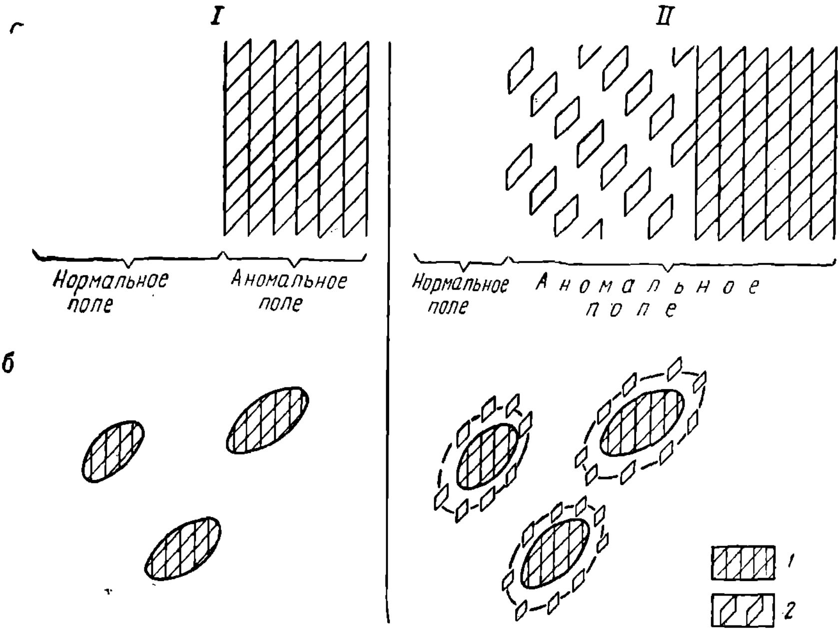


Рис. 38. Схема минералогического поля в плане (б) и разрезе (а) месторождений минералов (I) и месторождений элементов (II).

1 — месторождения; 2 — минералогические ореолы рассеяния

и элементов тем, что полезным ископаемым в них являются горные породы, прогноз и поиски которых более просты по сравнению с двумя другими классами месторождений.

В зависимости от степени концентрации полезных минералов и их спутников могут быть выделены нормальные и аномальные минералогические поля (рис. 38). На приведенной схеме видно различие в характере минералогического поля, включающего месторождение минералов и месторождения элементов. Минералогические поля, включающие многие месторождения минералов, характеризуются большой прерывистостью строения, выражающейся в том, что нормальное поле начинается практически за пределами контура тела, которое вмещает полезное ископаемое

(интрузив, пегматитовое тело, кимберлитовая трубка и т. д.). В данном случае минералогическая аномалия (аномальное поле) совпадает с телом полезного ископаемого, что значительно усложняет возможность использования ряда методов поисков.

В тех же случаях, когда за пределами тела полезного ископаемого наблюдаются признаки аномального минералогического поля, выражающиеся в наличии слабо измененных пород, содержащих полезный минерал (месторождения барита, флюорита, графита, корунда), появляется возможность расширить комплекс применяемых поисковых методов.

Минералогические аномальные поля, включающие месторождения элементов, отличаются более непрерывным характером, который выражается в наличии отчетливых ореолов измененных пород и сопровождающих их ореолов рассеяния минералов полезных ископаемых и их спутников вокруг и между месторождениями. Здесь могут быть выделены отчетливые минералогические аномалии более значительных размеров, чем сами месторождения, что повышает возможность использования многих поисковых методов для их выявления.

Нормальные минералогические поля отражают распределение содержаний минералов полезных ископаемых и их спутников в неизмененных горных породах: осадочных, магматических, метаморфических. Основными параметрами нормального минералогического поля, кроме содержаний указанных минералов, являются: форма кристаллов и их агрегатов, типоморфизм, окраска минералов, степень окатанности или оплавления, прозрачность и другие свойства, которые можно определить при минералогических исследованиях.

Нормальные минералогические поля в осадочных породах отражают распределение и характер акцессорных минералов тяжелой фракции в терригенных отложениях (песчаниках, конгломератах) или минералов нерастворимых остатков в карбонатных породах. Сопоставление таких данных позволяет прогнозировать положение и состав питающих провинций, определивших формирование осадочных пород, а также решать другие вопросы, имеющие отношение к прогнозу полезных ископаемых.

Нормальные минералогические поля в магматических породах оконтуриваются по акцессорным минералам. При сравнении вулканогенных (эффузивных) и интрузивных пород обычно отмечается резкое увеличение акцессорных минералов в интрузивных аналогах. В. С. Коптев-Дворников [87] выделял так называемую акцессорно-минеральную специализацию интрузивов. То же отмечается В. В. Ляховичем [104] и другими исследователями. Приведем некоторые примеры подобной специализации. По данным Г. И. Горбунова [52], в пределах Печенгского района известно 163 интрузива ультраосновных и основных пород протерозойского возраста, среди которых 52 интрузива габбро-диабазов и 111 никеленосных интрузивов ультраосновных и основных

пород. Первая группа интрузивов представляет собой тела с нормальным минералогическим полем. Акцессорные минералы в этих породах — ильменит и апатит, сульфиды практически отсутствуют. Вторая группа пород представлена перидотитами (измененными), пироксенитами и габбро. Характерной особенностью состава акцессорных минералов в них является постоянное присутствие сульфидов, наряду с ильменитом, титаномагнетитом, апатитом, сфеном и магнетитом. Интрузивы, сложенные такими породами, представляют собой аномальные минералогические и геохимические поля, внутри которых располагаются месторождения медно-никелевых руд.

Материалы исследований в Забайкалье показывают, что среди многочисленных интрузивов гранитного состава на этой территории выделяются интрузивы палеозойского и мезозойского возраста, а последние в свою очередь подразделяются на более ранние (доверхнеюрские) и более поздние (верхнеюрские).

Верхнеюрские гранитные интрузивы выделяются аномальными минералогическими полями по сравнению с доверхнеюрскими и тем более палеозойскими гранитными интрузивами. Например, доверхнеюрский Чатангинский интрузив гранитов характеризуется наличием небольшого количества акцессорных минералов: циркон, монацит, ильменит, магнетит, сфен, апатит. Этот массив гранитов отражает нормальное минералогическое поле, с которым не связано образование месторождений. Шерловогорский гранитный интрузив верхнеюрского возраста отличается наличием явно аномального поля, для которого характерно развитие большого количества акцессорных минералов, в том числе и рудных. В гранитах этого интрузива установлены следующие акцессорные минералы: монацит, ильменит, рутил, флюорит, топаз, вольфрамит, касситерит, арсенопирит, галенит, сфалерит, пирит, сидерит [84].

Сопоставление минеральных полей нормального и аномального типов позволяет решать вопрос о выборе интрузивов, с которыми генетически или парагенетически могут быть связаны месторождения определенных полезных ископаемых. В данном случае — месторождений олова и вольфрама.

Нормальные минеральные поля метаморфических пород отражают состав обычных фаций регионального метаморфизма, которые могут отражать первичный состав пород [158]. По данным Н. А. Елисеева [60], выделяются следующие фации регионального метаморфизма: цеолитовая, зеленых сланцев, глаукофановых сланцев, эпидот-амфиболитовая, альмандин-амфиболовая, гранулитовая, эклогитовая. В классификации В. А. Николаева и др. [115] выделяются: породы низкой ступени регионального метаморфизма — филлиты и зеленые сланцы; средних ступеней — амфиболитовая фация, разделяемая на четыре подфации — кордиерит-антофиллитовая, ставролит-кианитовая, силлиманит-альмандиновая, альмандин-диопсид-роговообманковая; породы

высокой ступени метаморфизма — гранулитовая фация (гнейсы и мигматиты), эклогитовая фация и часть образований амфиболитовой фации.

На фоне нормального минерального поля метаморфических пород может выделяться аномальное минеральное поле развития наложенного характера. Примером этого является один из участков бассейна р. Мамы, сложенного четырьмя свитами метаморфических пород. По данным В. А. Николаева, Н. В. Горлова и В. А. Масленикова [115], эти свиты представлены (с северо-запада на юго-восток): гнейсами и мигматитами, известняково-гнейсовой свитой, филлитами и зелеными сланцами. Свиты прорваны на северо-востоке интрузивом биотитовых гранитов, с которым связано появление аномального минералогического поля, пересекающего нормальное поле метаморфических пород. В пределах аномального поля выделяются следующие зоны от интрузива в сторону вмещающих пород: филлиты, превращенные в узловатые сланцы с порфиробластами биотита, дистена, граната; филлиты с порфиробластами биотита и дистена; филлиты с порфиробластами биотита.

Нормальные минералогические поля в рыхлых четвертичных отложениях формируются за счет неизмененных коренных пород различного состава. По размеру обломков выделяются крупновалунные и глыбовые, среднеобломочные, мелко- и тонкообломочные; по генезису — ледниковые, элювиально-делювиальные, аллювиальные, прибрежно-морские и озерные, глубинно-океанические. Все эти типы рыхлых отложений характеризуются наличием отдельных минералов или агрегатов минералов различных пород, слагающих бассейн размыва.

Нормальное минералогическое поле рассеяния оконтуривается в крупно-, средне- и тонкообломочных рыхлых отложениях по обломкам пород и агрегатов минералов и по отдельным кристаллам и их обломкам. В данном случае основное значение приобретает анализ тяжелого остатка (шлиха), содержащего полезные минералы и их спутники.

Изучение характера нормального минералогического поля рассеяния в рыхлых четвертичных отложениях позволяет решать многие вопросы прогнозного направления, например, для реконструкции планового положения древних русел, определения положения коренных первоисточников полезных минералов тяжелой фракции шлихов и др.

Так, при составлении карты минеральных ассоциаций северо-восточной части Сибирской платформы Б. И. Прокопчук и Э. Г. Сочнева [144] установили, что анализ тяжелой фракции шлихов дает возможность восстановить план речной сети разных периодов развития рельефа. Три минеральные ассоциации: эпидот-ильменит-гранатовая, лимонитовая и гранат-пироксен-ильменитовая имеют площадное распространение, четвертая — ильменит-альмандин-пироксеновая — приурочена только к долине

р. Оленек и характерна для аллювия этой реки (рис. 39). Главные минералы этой ассоциации: моноклинный пироксен, гранат (альмандин), амфибол, ильменит, магнетит, ромбический пироксен; акцессорные — силлиманит, пирит, барит, эпидот, кианит, рутил, циркон, шпинель, ставролит, турмалин, лимонит, хромит, лейкоксен, оливин, сфен, монацит. Минералогический состав шлихов рассмотренной ассоциации, окатанность трапповых минералов, хорошая сортированность материала, значительный выход

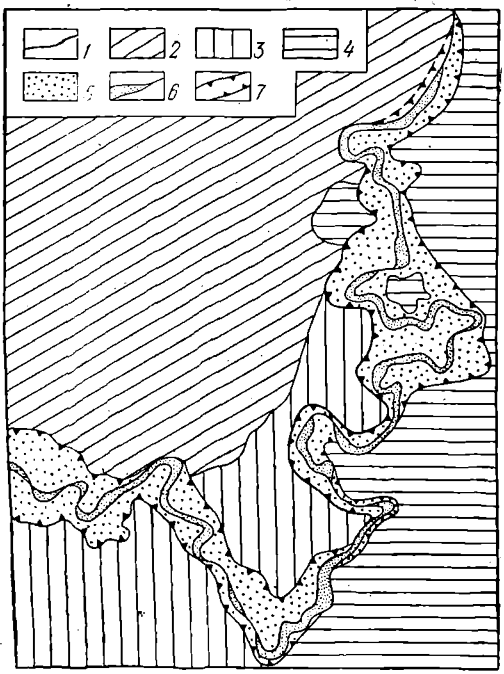


Рис. 39. Нормальное минералогическое поле рыхлых отложений бассейна р. Оленек (по Б. И. Прокопчуку и Э. Г. Сочневой).

1 — границы площадей развития минеральных ассоциаций; *2* — эпидот-ильменит-гранатовая; *3* — лимонитовая; *4* — гранат-пироксен-ильменитовая; *5* — ильменит-альмандин-пироксеновая; *6* — сохранившийся разновозрастный аллювий р. Оленек; *7* — контур долины р. Оленек, выделенный на основе минералогических данных

тяжелой фракции позволили сделать вывод, что данная ассоциация не связана с местными источниками (карбонатные породы кембрия), а формировалась в основном за счет размыва траппов в истоках р. Оленек.

Весьма интересным примером нормального минералогического поля планетарного типа в современных рыхлых отложениях являются осадки Атлантического океана. По данным И. И. Шурко [194], здесь выделяется несколько терригенно-минералогических зон и провинций, которые характеризуются особенностями распределения двух минеральных комплексов: рудноцирконового и роговообманкового. Первый комплекс характерен для осадков шельфа, где он создает максимальные концентрации, особенно значительные в тропической зоне. Так, на шельфе Гвинеи и Гвианы тяжелая подфракция на 60—80% состоит из черных рудных минералов и циркона, в то время как на широте Гренландии и Ан-

тарктиды суммарное содержание редко превышает 20—30%. Второй комплекс — роговообманковый образует концентрации в глубоководных котловинах. Формирование нормального минералогического поля в осадках Атлантического океана, по мнению И. И. Шурко, определяется рядом факторов: составом пород питающих провинций, широтой места, т. е. климатом, удаленностью от источника сноса, морфологией дна. На фоне нормального поля рассеяния минералов шельфовой зоны здесь выделяются аномальные минералогические поля развития прибрежно-морских россыпей восточного побережья Южной Америки и западного побережья Африки.

Минералогические аномальные поля, выделяемые на фоне нормальных минералогических полей наличием минералогических аномалий и ореолов рассеяния, могут быть планетарными и региональными, а также локальными. Общая их группировка приведена в табл. 14.

Таблица 14

Аномальные минералогические поля для различных типов месторождений полезных ископаемых

Типы месторождений	Типы полей	
	планетарные и региональные	локальные
Месторождения минералов	Пояса и провинции, связанные с областями развития определенных типов пород	Зоны, поля, выходы полезных ископаемых, ореолы рассеяния и аномалии (первичные и вторичные)
Месторождения элементов:		
россыпные	Пояса и провинции, связанные с областями развития терригенных осадков	Зоны, ореолы рассеяния и аномалии развития полезных минералов тяжелой фракции
коренные	Пояса и провинции, совпадающие с геохимическими поясами и провинциями	Зоны, поля, выходы полезных ископаемых, ореолы измененных пород и совпадающие с ними минералогические и геохимические ореолы рассеяния (первичные и вторичные)

Планетарные и региональные минералогические аномальные поля, рассматриваемые как предпосылки поискового прогнозирования, включают провинции развития месторождений минералов. Они приурочены к областям развития определенных типов пород — метаморфических или магматических. Например, слюдоносные провинции, являющиеся региональными предпосылками поисков флогопита и мусковита, размещаются

преимущественно в областях развития древних докембрийских пород щитов, плит и складчатых зон. Как отмечают Г. Г. Родионов и Б. М. Роненсон [152], в пределах этих провинций промышленные месторождения слюд приурочены к породам одной из четырех слюдоносных формаций: флогопитоносных магнезиальных кристаллических сланцев, флогопитоносных ультраосновных — щелочных комплексов, мусковитовых пегматитовых, мусковит-берилловых пегматитов.

Локальные минералогические аномальные поля, связанные с месторождениями минералов, включают зоны их развития, а также выходы полезных ископаемых на поверхность и ореолы рассеяния. Например, флогопитоносные зоны одной из провинций Сибири, по данным Г. Г. Родионова и Б. М. Роненсона [152], приурочены к диопсидовым сланцам, пересеченным жилообразными и трубообразными телами аляскитовых гранитов. Флогопит образует скопления внутри диопсидовых сланцев полосчатой, сетчато-штокверковой, трубообразной или жильной формы.

Выходы флогопитоносных пород на поверхность, так же как и выходы мусковитоносных пегматитов, пьезооптического сырья, алмазов, драгоценных камней, характеризуются незначительными изменениями, которые касаются прежде всего изменений физических свойств.

Устойчивость месторождений минералов в экзогенной зоне создает благоприятные условия образования ореолов рассеяния обломков кристаллов полезных минералов или пород их включающих в элювиально-делювиальных, аллювиальных и ледниковых отложениях. Некоторые минералы создают россыпи — алмаз, пьезокварц.

В целом месторождения минералов создают отчетливые минералогические аномалии преимущественно вторичного типа в рыхлых отложениях различного генезиса. Но эти же месторождения не создают отчетливых первичных аномалий в коренных породах.

При рассмотрении минералогических аномальных полей, связанных с *месторождениями элементов*, необходимо учитывать две группы, приведенные в табл. 14. Первая группа включает месторождения естественных минеральных концентратов, из которых получают определенные химические элементы. Это месторождения-россыпи устойчивых минералов: золота, олова, титана, циркония, редких элементов. Планетарные пояса россыпей связаны с зонами побережий морей и океанов, где на континенте имеются первоисточники полезных минералов.

Региональные зоны россыпей приурочены к речным долинам, заполненным терригенными отложениями. Эти зоны имеют значение и для прогноза погребенных россыпей.

Минералогические аномальные поля, включающие коренные месторождения элементов, совпадают с геохимическими аномальными полями.

В пределах локальных аномальных полей могут встречаться выходы полезных ископаемых на поверхность, являющиеся прямым поисковым признаком. Выходы могут быть практически неизмененными, частично измененными, значительно измененными. По выходу производится первая оценка качества и возможных масштабов проявления полезного ископаемого. Для этого изучаются эндогенные и экзогенные минералы, пустоты от выщелачивания кристаллов или их агрегатов. Характер этих образований на выходах различных полезных ископаемых отражен в приведенной группировке (табл. 15).

Принципы оценки выходов месторождений или проявлений элементов основаны на сопоставлении характера и количественных соотношений эндогенных и экзогенных минералов, а также пустот от выщелачивания.

Рудные скопления эндогенного происхождения месторождений 1-й группы сохраняют свои особенности в экзогенной зоне и, следовательно, по выходу можно оценивать их продолжение на глубину. Необходимо лишь учитывать явления возможного механического перераспределения тяжелых минералов.

Выходы месторождений 2-й группы характеризуются наличием остатков сульфидов (в «рубашке» из продуктов окисления), экзогенных минералов и пустот от выщелачивания. В результате экзогенных изменений может происходить перераспределение первичных содержаний полезных компонентов в зоне окисления. Поэтому оценка выхода усложняется и требует значительного к себе внимания.

Выходы месторождений 3-й группы часто представляют собой сильно измененные образования по сравнению с первичными телами. Происходит полное перераспределение полезных компонентов в зоне окисления и накопление некоторых из них в нижней ее части. Образуется зона вторичного обогащения, иногда имеющая самостоятельное промышленное значение. Это относится даже к золоту, которое создает в нижней части зоны окисления колчеданных месторождений крупные концентрации. Оценка выходов на поверхность таких зон окисления весьма сложна и требует использования минералогических и геохимических предпосылок и признаков [135, 4].

К минералогическим предпосылкам относятся также ореолы измененных пород и совпадающие с ними минералогические и геохимические ореолы рассеяния. Ореолы измененных пород обычно являются косвенными поисковыми признаками; ореолы рассеяния полезных минералов и минералов-спутников — прямыми поисковыми признаками.

Эндогенные первичные ореолы измененных пород и минералогические ореолы рассеяния, сопровождающие эндогенные месторождения элементов, характеризуются следующими основными особенностями. Для месторождений, генетически связанных с интрузиями, отмечаются

Таблица 15

Группировка месторождений и проявлений полезных ископаемых по характеру их выхода на поверхность (по В. И. Смирнову, с дополнениями)

Группа месторождений	Минералы полезных ископаемых	Устойчивость минералов в экзогенных условиях		Пустоты от выщелачивания	Способность к рассеянию в экзогенных условиях
		эндогенные	экзогенные		
1. Практически неизмененные	Самородные элементы (золото в кварцевых жилах, алмазы, платина), окислы железа, марганца, олова; сульфиды (ртути); фосфаты (апатит)	Устойчивые	—	Не характерны	Ореолы рассеяния минералов, иногда россыпи
2. Частично измененные	Сульфиды (свинца, сурьмы, висмута, мышьяка)	Неустойчивые	Устойчивые	Характерны	Ореолы рассеяния элементов и минералов
3. Значительно измененные	Сульфиды (меди, цинка), самородные элементы в виде субмикроскопических включений в сульфидах (золото в колчеданах)	То же	Неустойчивые	Не характерны	Ореолы рассеяния элементов

наиболее высокотемпературные разновидности измененных пород: скарны, грейзены, роговики, кварциты. Минералы представлены силикатами, окислами. Месторождения, парагенетически связанные с интрузиями, отличаются среднетемпературными разностями измененных пород: серицитизированные, хлоритизированные и окварцованные породы, в которых наряду с силикатами и окислами широко развиты сульфиды и особенно пирит.

В месторождениях, не имеющих генетической или парагенетической связи с интрузиями, отмечаются наиболее низкотемпературные изменения: доломитизация, баритизация, кальцитизация, флюоритизация, окварцевание. В измененных породах среди новообразованных минералов наблюдаются карбонаты, окислы, сульфиды, галогениды.

Экзогенные первичные ореолы измененных пород и минералогические ореолы рассеяния, сопровождающие экзогенные месторождения, проявляются отчетливо только в некоторых типах полезных ископаемых: солях, сере и др.

Экзогенные вторичные ореолы измененных пород в коре выветривания эндогенных месторождений проявляются в виде ореолов выщелачивания сульфидов и других минералов, а также в образовании ореолов лимонитизации и гематитизации, каолинизации и т. д.

Экзогенные вторичные ореолы рассеяния минералов в рыхлых отложениях содержат продукты разрушения эндогенных и экзогенных месторождений. При этом в контурах ореолов накапливаются устойчивые минералы в экзогенных условиях — окислы, силикаты и реже сульфиды. Характер вторичных ореолов рассеяния минералов в рыхлых отложениях определяются прежде всего их генезисом.

Элювиально-делювиальные ореолы рассеяния минералов, совпадающие с геохимическими ореолами, прослеживаются в грубообломочных и мелко-тонкообломочных фракциях рыхлых отложений. Аллювиальные потоки рассеяния минералов концентрируются в песчаной фракции, в то время как геохимические потоки — в глинистой илистой фракции аллювиальных отложений. Ледниковые ореолы рассеяния минералов могут фиксироваться в валунах, лежащих на поверхности морены или в ее толще, а также в виде тонкой фракции моренных отложений. Прибрежно-морские ореолы рассеяния минералов полезных ископаемых и их спутников локализуются в песчаных фракциях пляжевых отложений или погребены под водами донных отложений прибрежной зоны шельфа. При этом если на континенте находятся «точечные» первоисточники минералов (массивы, трубки и другие образования), то формируются своеобразные потоки рассеяния минералов, следующие руслу речной долины на континенте и погребенной ее части под водами побережья. Первоисточники «площадного типа» формируют в прибрежной зоне широкие ореолы рассеяния береговой линии моря.

ВЫВОДЫ

Разработка минералогических предпосылок и признаков поискового прогнозирования должна вестись на основе существующих классификаций минералов и месторождений, отражающих условия их образования, устойчивость в различных условиях, возможности миграции.

Локальные минералогические поля аномального типа являются чаще всего прямыми поисковыми признаками и иногда косвенными.

Региональные и планетарные аномальные поля — предпосылками поискового прогнозирования.

Для многих месторождений минералов характерно совпадение минералогических аномалий с месторождениями, что затрудняет использование многих поисковых методов. Для месторождений элементов, наоборот, отмечается более широкое развитие минералогических ореолов, образующих обширную «мишень» для поисков.

Для подготовки карт прогноза составляются специализированные вспомогательные минералогические карты различного типа.

Геофизические предпосылки и признаки

Сущность геофизических предпосылок и признаков поискового прогнозирования заключается в использовании характера геофизических полей и аномалий для прогноза и поисков полезных ископаемых.

В общем виде геофизические поля могут быть подразделены на три группы: нормальные однородные, нормальные неоднородные и аномальные. Геофизические поля отражают соотношение физических свойств горных пород и полезных ископаемых в литосфере. В зависимости от тектонического положения изучаемой территории и характера полезных ископаемых эти соотношения могут быть весьма различными. Большое значение имеет также глубина залегания верхней кромки исследуемых объектов.

Нормальные однородные геофизические поля обычно связаны с полого- или горизонтальнозалегающими толщами пород значительной мощности на плитах или во впадинах, где фундамент залегает на больших глубинах от поверхности. Если в пределах этих толщ располагаются месторождения полезных ископаемых, не создающих отчетливых геофизических аномалий, то их трудно выделить на фоне нормального однородного поля.

Нормальные неоднородные геофизические поля встречаются наиболее часто. Они связаны со складчатыми зонами, где горные породы образуют сложное чередование физических свойств, отражаемое на графиках или картах геофизических наблюдений. Среди отдельных неоднородностей таких полей

могут находиться месторождения или проявления полезных ископаемых, создающих слабые геофизические аномалии или залегающие на определенной глубине от поверхности. Нормальные неоднородные геофизические поля характерны и для тех площадей закрытых районов (плит, впадин, складчатых зон), где мощность покрова находится как бы «в равновесии» с интенсивностью геофизических аномалий.

Аномальные геофизические поля характеризуются наличием отчетливых интенсивных аномалий, которые могут быть связаны с некоторыми типами горных пород, залегающих на поверхности, или с телами полезных ископаемых, физические свойства которых резко выделяются на фоне вмещающих пород.

По масштабу проявления аномальные геофизические поля разделяются на планетарные, региональные и локальные.

Планетарные аномальные геофизические поля включают системы аномалий, прослеживаемых на значительной части поверхности планеты. Выявление таких аномальных полей производится при космических и высотных аэрогеофизических наблюдениях.

Региональные аномальные геофизические поля выделяются по системам аномалий, располагающихся в пределах крупных региональных структур земной коры, включающих геохимические и минералогические провинции. Представителем таких региональных аномальных геофизических полей являются, например, зоны глубинных и региональных разломов, проходящих вдоль краевых частей Сибирской платформы, по простиранию Уральской складчатой зоны и других тектонических структур (рис. 40).

Локальные аномальные геофизические поля являются составной частью региональных полей и включают аномалии, с которыми связаны месторождения полезных ископаемых, отличающихся контрастными параметрами физических свойств.

Геофизические аномалии по их связи с полезными ископаемыми и по возможностям геологической интерпретации могут быть подразделены на две группы: простые и сложные.

Простые геофизические аномалии обусловлены главным образом самими полезными ископаемыми, что позволяет относить некоторые из них в разряд поисковых признаков. Подобные аномалии, например, создаются магнетитовыми и урановыми рудами.

При использовании простых геофизических аномалий для прогноза и поисков полезных ископаемых их интерпретация должна всегда вестись с учетом характера нормального геофизического поля (фона). Например, магнитные аномалии большой интенсивности на фоне слабо магнитных пород позволяют проводить их интерпретацию почти однозначно. В то же время магнитные аномалии, выявляемые среди пород с повышенной магнитной восприимчивостью, требуют особого подхода при интерпретации или дополнительных наблюдений. В этих условиях особого внимания заслуживают слабые аэромагнитные аномалии, интенсивность которых значительно возрастает при оконтуривании их

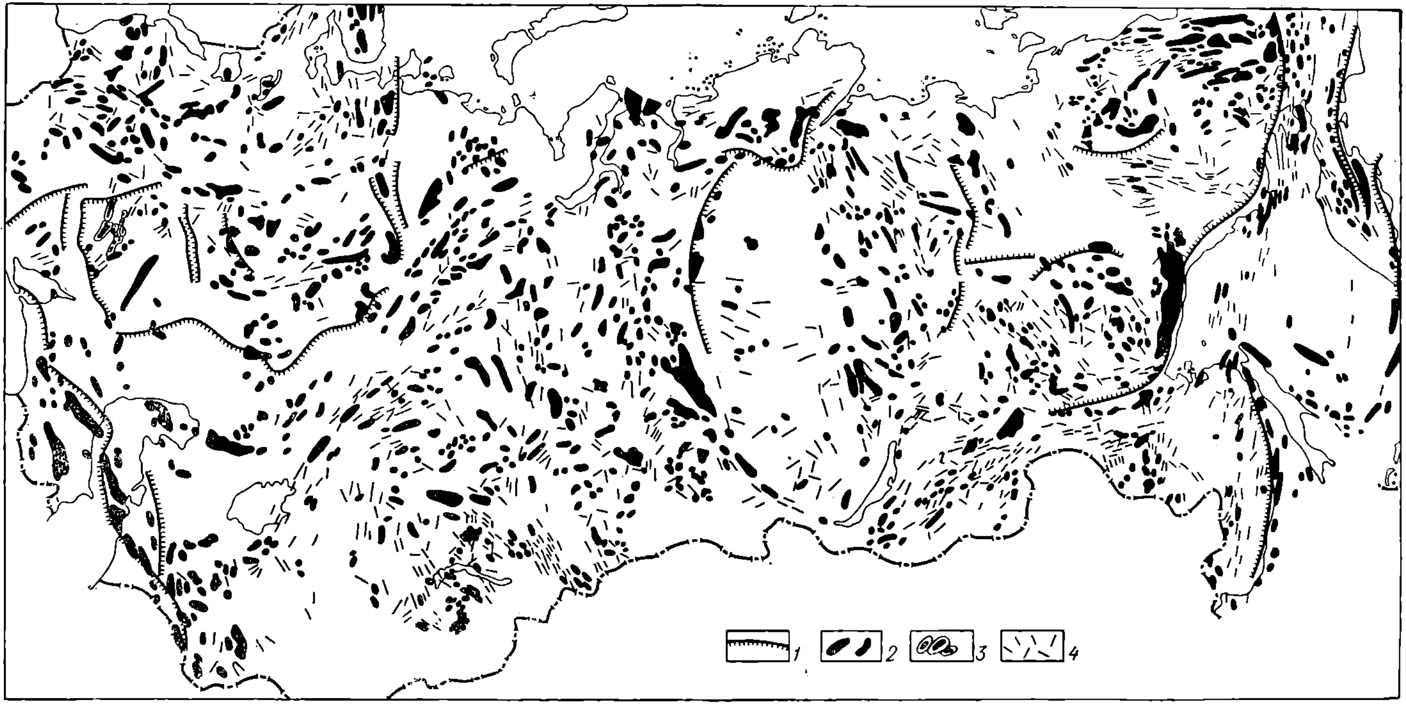


Рис. 40. Региональные аномальные геофизические поля территории СССР (по А. А. Борисову и др.). [20])

1 — гравитационные ступени; 2 — относительно положительные магнитные аномалии; 3 — курские положительные весьма интенсивные магнитные аномали; 4 — оси сравнительно мелких положительных магнитных аномалий

наземной магнитной съемкой. В этом отношении представляют интерес для сопоставления данные, приводимые П. И. Касаткиным [80] для Норильского района развития интрузивов габбродиабазов (табл. 16).

Таблица 16

Сопоставление характера магнитных аномалий, выявленных различными методами (по П. И. Касаткину)

Вид съемки	Высота плоскости наблюдения, м	Интенсивность аномалии, гамм	Ширина аномалии, км	Глубина верхней кромки возмущающего объекта, м
Общая аэромагнитная	200	1200	9	1380
Детальная аэромагнитная	100	1400	7,5	1380
Наземная магнитная	0	1600	3,4	1000

Простые геофизические аномалии иногда могут служить косвенными поисковыми признаками некоторых типов россыпных месторождений. Например, если рыхлые аллювиальные отложения обогащены магнетитом, в ассоциации с которым встречаются золото, вольфрамит или другие полезные минералы, оконтуривается слабая магнитная аномалия, служащая поисковым признаком. При этом нормальное поле может иметь, например, среднюю интенсивность в 0—20 гамм, магнитная аномалия 50—100 гамм.

Простые гравиметрические аномалии характерны для залежей хромитов, располагающихся среди массивов гипербазитов. Интенсивность таких аномалий находится в пределах 0,5—1,5 мг/л [185]. Не все из них связаны с промышленными концентрациями, но и они позволяют выявлять слепые неглубокозалегающие тела хромитов. На Кубе, например, из выявленных 106 гравиметрических аномалий 10% оказались связанными с хромитами.

С л о ж н ы е геофизические аномалии обусловлены геологическими структурами или магматическими телами, с которыми генетически или парагенетически связаны полезные ископаемые. Эти аномалии создаются сочетанием воздействия структур, полезных ископаемых и сопровождающих их минеральных комплексов. Поэтому сложные геофизические аномалии являются лишь предпосылками поискового прогнозирования, для интерпретации которых необходимо учитывать данные двух или нескольких геофизических методов.

Рассмотрим некоторые примеры сложных геофизических аномалий, которые обусловлены месторождениями различных типов полезных ископаемых. Месторождения богатых железных руд

КМА создают сложные магнитные и гравиметрические аномалии, совместная интерпретация которых позволяет наметить положение скрытых (погребенных) тел богатых железных руд. Платформенные месторождения бокситов в некоторых районах характеризуются сложными геофизическими аномалиями, составными частями которых являются аномалии электрического удельного сопротивления и слабые магнитные аномалии. Здесь сложные аномалии обусловлены, с одной стороны, благоприятными структурами (депрессия), а с другой — физическими свойствами минеральных комплексов самих бокситов (повышенная магнитная восприимчивость).

Некоторые типы сложных геофизических аномалий создаются интрузивными телами, с которыми генетически связаны месторождения ряда полезных ископаемых. К ним, например, относятся месторождения бериллия, тантала, олова, вольфрама, молибдена, генетически связанные с интрузивами лейкократовых гранитов. Тектонические структуры, а также формы современного или погребенного рельефа, с которыми связаны определенные полезные ископаемые, могут выражаться сложными геофизическими аномалиями, которые можно использовать в качестве предпосылок поискового прогнозирования.

ВЫВОДЫ

Аномальные геофизические поля могут рассматриваться как предпосылки поискового прогнозирования общего типа. Планетарные аномальные поля связаны с металлогеническими поясами, проходящими через значительные территории планеты. Региональные аномальные геофизические поля контролируют размещение многих металлогенических провинций; локальные поля — положение рудных полей и месторождений полезных ископаемых.

Геофизические аномалии могут рассматриваться как прямые или косвенные поисковые признаки только для некоторых полезных ископаемых, физические свойства которых контрастно выделяются на фоне вмещающих пород (магнетит, уран, соль в куполах); это так называемые простые геофизические аномалии. Предпосылками поискового прогнозирования являются сложные геофизические аномалии, выявляемые двумя или несколькими геофизическими методами. Они обусловлены сочетанием геологических структур, вмещающих месторождения, и минеральными комплексами, их образующими и сопровождающими.

Интерпретация характера аномальных геофизических полей и аномалий должна производиться с учетом и на основе анализа параметров нормальных геофизических полей применительно к определенным тектоническим структурам (платформам, складчатым зонам и т. д.) и предполагаемым глубинам залегания возмущающих объектов. Большое значение имеет также учет методики геофизических исследований.

Прогнозирование ожидаемого генетического и промышленного типа месторождения по данным интерпретации геофизических аномалий должно производиться на основе группировки месторождений по характеру создаваемых ими геологических и геофизических аномалий.

Глава 3

КАРТЫ ПРОГНОЗА И МЕТОДИКА ИХ СОСТАВЛЕНИЯ

46

Рассмотренные в предыдущей главе предпосылки и признаки поискового прогнозирования отражаются на картах: геологических, полезных ископаемых, минералогических, геохимических, геофизических. Эти карты, составляемые в процессе геологической съемки и поисков, по своему содержанию и характеру являются картами полей (геологических, минералогических, геохимических, геофизических). На них регистрируются все известные данные и производится обобщение в наиболее полном виде по всем «выделенным интервалам» (стратиграфическим, петрографическим, геохимическим, минералогическим, геофизическим). На подобных картах видны все неоднородности полей, часть из которых могут быть аномальными (рис. 41, *а*, *б*, *в*). Чтобы сосредоточить внимание на этих аномальных полях, представляющих значение для прогноза полезных ископаемых, составляются карты металлогенические (минерагенические), прогнозные, прогнозно-металлогенические. Металлогеническая карта отражает закономерности размещения месторождений полезных ископаемых, карта прогноза отражает прогноз перспективных зон и площадей, в пределах которых рекомендуется постановка поисковых работ. На этих типах карт отражаются именно аномальные явления, которые могут определить прогноз полезных ископаемых; все остальные образования, не имеющие непосредственного влияния на прогноз, как бы «гасятся» и создают лишь общий фон карты (рис. 41, *г*). Таким образом, карта прогноза представляет собой карту аномалий (геологических, минералогических, геохимических, геофизических), позволяющих выявлять и анализировать предпосылки и признаки поискового прогнозирования с целью выделения перспективных зон и площадей для постановки поисковых или поисково-оценочных (поисково-разведочных) работ.

Карты прогноза всегда являются картами специализированными на определенный вид полезного ископаемого или на комплекс полезных ископаемых.

По масштабу карты прогноза могут разделяться на: обзорные — 1 : 10 000 000—1 : 2 500 000; региональные — 1 : 1 000 000—1 : 200 000—1 : 50 000; детальные — 1 : 25 000—1 : 5000 и крупнее.

Обзорные карты прогноза составляются для крупных территорий — целой страны или отдельных ее частей, планетарных тектонических структур земной коры. Примером таких карт являются

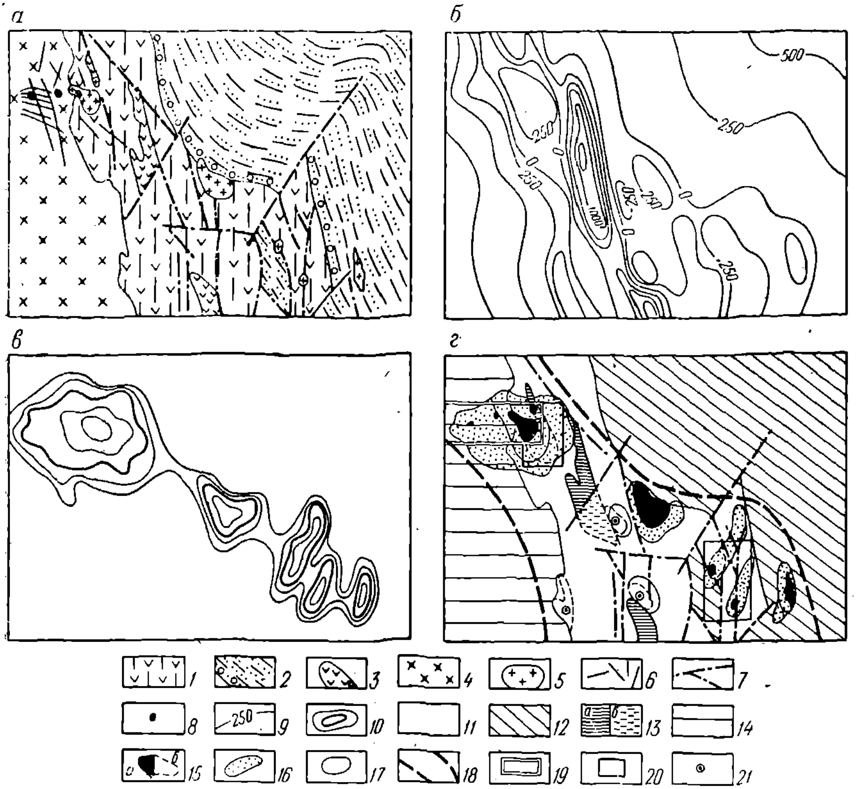


Рис. 41. Карты полей одного из рудных районов Забайкалья (составлены В. В. Аристовым, Л. Л. Ляховым, Б. Н. Королевым, И. Н. Кадыровым):

а — геологического поля, *б* — геофизического поля, *в* — геохимического поля; карта аномалий :*г* — прогнозная карта.

1 — эффузивно-осадочная свита (Pz_1^1); *2* — осадочная свита (Pz_1^2); *3* — гипербазиты (λPz_1); *4* — кварцевые диориты (σPz_2); *5* — граниты (γMz_2); *6* — дайковый комплекс (Mz_2); *7* — разрывные нарушения; *8* — месторождения молибдена и вольфрама; *9* — изодинамы магнитного поля; *10* — изолинии концентраций вольфрама; *11* — нижний структурный этаж; *12* — верхний структурный этаж; *13* — гипербазиты (*а* — выходящие на поверхность, *б* — скрытые); *14* — кварцевые диориты; *15* — граниты (*а* — выходящие на поверхность, *б* — скрытые); *16* — геохимические аномалии вольфрама; *17* — геофизические аномалии (ΔZa); *18* — перспективная зона; *19* — площади разведуемых и эксплуатируемых месторождений; *20* — площади, рекомендуемые для постановки детальных поисков; *21* — проектируемые скважины

карта прогноза углей СССР, карта прогноза бокситоносности СССР, карта прогноза фосфоритоносности СССР и др. К подобным же картам относятся и обзорные металлогенические карты [64].

Региональные карты прогноза составляются для отдельных регионов или их частей по материалам региональной геологической съемки, сопровождаемой предварительными поисками.

Детальные карты прогноза составляются для отдельных частей перспективной зоны, рудного поля или месторождения полезных ископаемых по материалам детальных поисков и геологической съемки. Поскольку в практике работы геологических экспедиций и партий приходится составлять региональные или детальные карты прогноза, остановимся более подробно на методике их выполнения.

В зависимости от степени детальности разработки карты прогноза могут иметь различное наименование, отражающее данные, учтенные при их составлении: геологическая карта с элементами прогноза; карта полезных ископаемых с элементами прогноза; схематическая карта прогноза; карта прогноза; прогнозно-металлогеническая карта и др.

Выбор наименования производится для конкретных условий, но всегда на карте прогноза лучше показывать не только прогнозируемые данные, но и геологическую основу, которая позволяет любому читателю карты самому анализировать приводимые данные, чтобы делать самостоятельные выводы и суждения или более обоснованно соглашаться с выводами авторов карты прогноза.

При составлении региональных и детальных карт прогноза должны быть выбраны у р о в н и п р о г н о з и р о в а н и я, т. е. поверхности, с которых выносятся (проектируются) прогнозируемые данные на плоскость карты прогноза. В одних случаях эти уровни совпадают с плоскостью карты прогноза, как это может быть в складчатой зоне, где прогнозируется продолжение перспективной зоны или площади под рыхлыми четвертичными отложениями малой мощности (рис. 42). Здесь прогноз новых площадей производится по поверхности земли, с которой и совпадает плоскость карты прогноза. В других случаях на плоскость карты прогноза проектируются данные с одного уровня, расположенного на определенной глубине от земной поверхности. Например, для районов плит карты прогноза могут составляться по поверхности погребенного фундамента или по одному из горизонтов платформенного чехла (рис. 43). Наконец, могут быть и такие случаи, когда на плоскость карты прогноза проектируют данные с нескольких уровней прогнозирования, расположенных на различной глубине от земной поверхности. Например, в складчатых областях при прогнозе эндогенных месторождений, связанных с гранитными интрузивами, на карту прогноза выносятся прогнозируемые данные о форме интрузива с нескольких уровней (рис. 44).

Составление детальных прогнозных карт и разрезов требует использования более точных средств изображения различных уровней прогнозирования — в изогипсах, в изолонгах. В целом карты прогноза и разрезы к ним позволяют получить объемное представление об участках земной коры, включающих объекты поисковых работ.

Л е г е н д а к карте прогноза состоит из трех частей: геологической, металлогенической (минерагенической) и прогнозной. Каждая часть легенды имеет свои условные обозначения, принципы составления которых для региональных и детальных карт будут изложены ниже.

Геологическая часть легенды. Основой карты прогноза является тектоническая карта региона, района или их частей. На ней в обобщенном виде показываются структурные этажи цветом

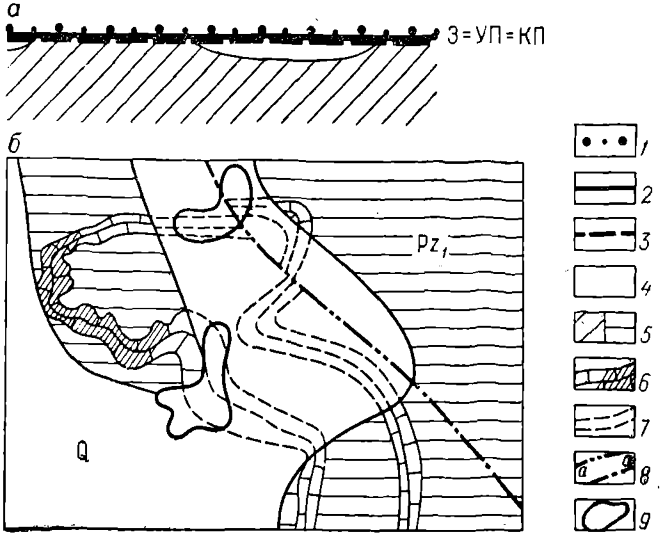


Рис. 42. Положение уровня прогнозирования в разрезе складчатой зоны с относительно маломощным покровом рыхлых отложений (*а*) и пример карты прогноза свинцово-цинкового месторождения, частично погребенного под маломощным покровом рыхлых четвертичных отложений (*б*).

1 — уровень прогнозирования (VII); 2 — поверхность земли (З); 3 — плоскость карты прогноза (КП); 4 — рыхлые четвертичные отложения; 5 — палеозойские отложения; 6 — мраморы доломитовые (заштрихован рудный горизонт); 7 — рудный горизонт, прогнозируемый под рыхлыми отложениями; 8 — разрывные нарушения: *а* — предполагаемые, *б* — установленные; 9 — геофизические аномалии

возраста геологических образований. Если в пределах этажа установлены свиты, горизонты, имеющие значение для прогноза полезных ископаемых, т. е. имеются аномальные части разреза структурного этажа, они выделяются особым цветом или штриховым знаком. На тектонической основе обозначают осевые линии или контуры складчатых структур, выделяя как аномальные те из них, которые также важны для прогноза. То же самое относится и к разрывным нарушениям, среди которых могут быть главные, второстепенные, рудоконтролирующие и т. д. Магматические образования, и прежде всего интрузивные тела, обозначают по возрастным комплексам, выделяя особо как аномальные потенциально рудоносные комплексы. Они могут закрашиваться; все остальные комплексы наносятся штриховыми знаками.

Металлогеническая (минерагеническая) часть легенды включает сведения о полезных ископаемых, а также об аномальных полях минералогических, геохимических, геофизических. Месторождения и проявления полезных ископаемых, выявленных на данной территории, показываются принятыми условными знаками. Их связь с определенными комплексами пород, генетический тип, формация и другие данные лучше всего отражать в специальной таблице, которая помещается на полях карты прогноза (рис. 45). Минералогические и геохимические ореолы и аномалии обозначают отдельно для коренных пород и для рыхлых отложений. Выбор границы содержаний минералов или элементов, с которых начинается показ ореолов и аномалий, определяется конкретными условиями.

Ореолы измененных пород показывают, как это принято на всех картах, красным цветом и соответствующими условными знаками. Геофизические аномалии обозначают в виде осевых линий

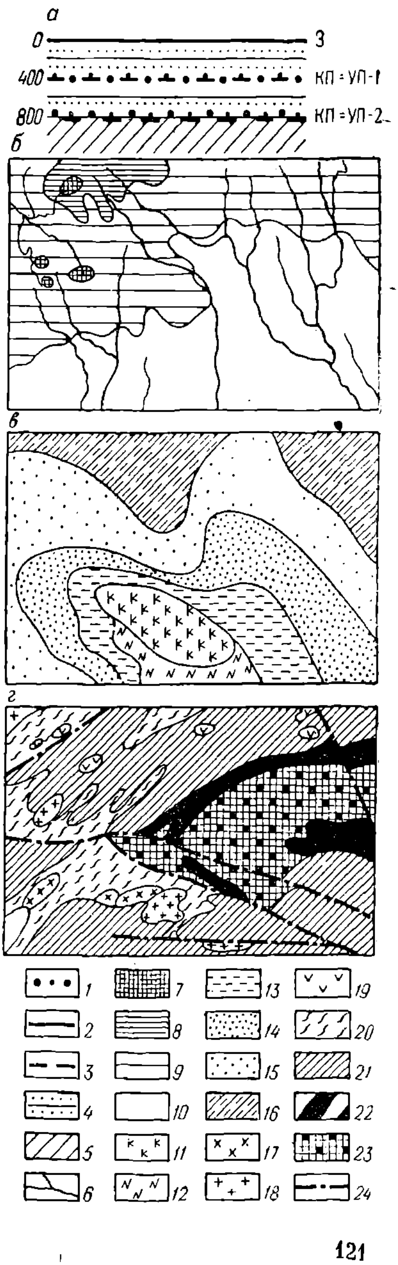


Рис. 43. Положение уровней прогнозирования в разрезе плит (*а*) и примеры прогнозных схем для разных уровней одного и того же района:

схема рельефа современной поверхности в районе Белорусско-Литовского кристаллического массива Русской плиты (по З. А. Горелик) — *б*; прогнозная схема кровли соленосной толщи верхнего фамена платформенного чехла (по А. А. Иванову и Ю. Ф. Левицкому) — *в*; прогнозная схема докембрийского фундамента (по Б. В. Бондаренко) — *г*. *1* — уровни прогнозирования (УП); *2* — поверхность земли (З); *3* — плоскости карт прогноза (КП); *4* — платформенный чехол; *5* — фундамент; *6* — речная сеть; площади поверхности: *7* — наиболее возвышенные, *8* — возвышенные, *9* — менее возвышенные, *10* — относительно погруженные; *11* — калийные соли; *12* — каменная соль; *13* — краевые фации соленосной толщи (глинисто-мергелистые отложения); *14* — отложения франского яруса; *15* — отложения живетского яруса; *16* — породы докембрия. Протерозой: *17* — гранодиориты, диориты; *18* — граниты; *19* — гипербазиты, базиты; *20* — гнейсы биотитовые; *21* — гнейсы и граниты нерасчлененные; *22* — железистые кварциты (магнетитовые); *23* — архей (диориты, граниты, гнейсы); *24* — разломы

или контуров особыми условными знаками для каждого геофизического метода.

Прогнозная часть легенды карты прогноза, именуемая «прогнозные данные», содержит следующие обозначения:

— геологические контуры, прогнозируемые на основании совокупности данных (предполагаемые границы геологических образований под рыхлыми отложениями; предполагаемое продолжение разрывных нарушений; предполагаемое скрытое продолжение интрузивных массивов и др.);

— прогнозные площади, выявляемые по совокупности благоприятных предпосылок и признаков поискового прогнозирования. Классификация этих площадей может быть самая разнообразная, но среди них лучше не выделять «площадей бесперспективных», как это рекомендуется в некоторых работах и монографиях. Составление карт прогноза, к сожалению, всегда основывается на ограниченном материале, который не позволяет сделать заключений о бесперспективности отдельных площадей, за исключением, может быть, некоторых полезных ископаемых (солей, углей). Кроме

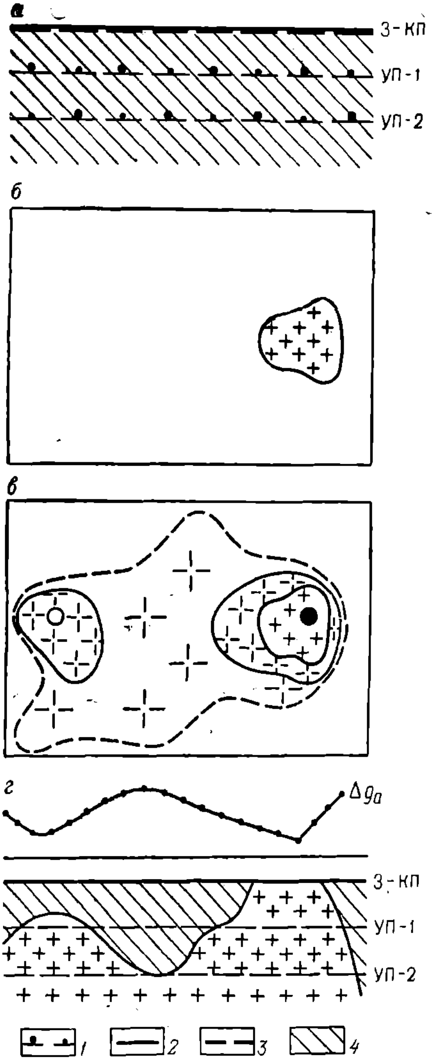


Рис. 44. Положение уровней прогнозирования в складчатой зоне.

а — уровни в разрезе; *б* — геологическая карта поверхности; *в* — карта прогноза, на плоскость которой вынесены данные с двух уровней прогнозирования; *г* — разрез этого района.

1 — уровни прогнозирования (УП-1, УП-2); *2* — поверхность земли (З); *3* — плоскость карты прогноза (КП); *4* — вулканогенно-осадочные породы; *5* — граниты; *6* — вулканогенно-осадочные породы; *7* — граниты, выходящие на поверхность (залитый кружок — месторождение); *8* — скрытое продолжение гранитного интрузива на первом уровне прогнозирования (светлый кружок — прогнозируемое месторождение); *9* — то же, на втором уровне; *10* — график Δg_a

того, практика геологоразведочных работ показывает примеры выявления новых месторождений на площадях, которые в свое время получили отрицательную оценку. Поэтому правильнее будет выделять только те площади или зоны, в пределах которых намечаются перспективы обнаружения месторождений полезных ископаемых. В самом кратком виде можно наметить следующие типы прогнозных площадей:

— площади возможных первоисточников полезных ископаемых (для экзогенных месторождений);

Связь полезных ископаемых с осадочными, магматическими и метаморфическими комплексами	Вид полезного ископаемого	Генетический тип	Формация	Минеральная ассоциация	Геохимическая ассоциация	Морфологический тип				Масштаб объекта				
						Пласты, линзы	Штоки, штокверки	Жилы, зоны	Трубки, гнезда	Месторождения: крупные	Месторождения: средние	Месторождения: небольшие	Проявления	Точки минерализации
Генетическая связь с лейкократовыми гранитами верхнего мела	Mo	Магматический	Гранитная	Молибденит	Mo		▲							▲
		Контактово-метасоматический	Скарновая	Молибденит Гранаты Пироксены Сульфиды	Mo Pb Zn	■				■				
		Постмагматическая	Грейзеновая	Молибденит Вольфрамит Берилл Топаз	Mo W Be F			●					●	

▲ Магматические ■ Контактово-метасоматические ● Постмагматические

Рис. 45. Форма таблицы месторождений и проявлений полезных ископаемых, показываемых на картах прогноза

— площади, благоприятные для сохранения месторождений полезных ископаемых под перекрывающими толщами, под экранами и т. д;

— перспективные зоны для обнаружения месторождений полезных ископаемых, выделяемые по сочетанию благоприятных предпосылок и признаков поискового прогнозирования;

— площади, выделяемые в пределах перспективных зон и рекомендуемые для постановки:

— предварительных поисков, сопровождающих региональную геологическую съемку;

— детальных поисков — площадных или глубинных;

— поисково-оценочных работ.

Для каждого типа подобных площадей может указываться очередность выполнения проектируемых работ.

Кроме того, в районах, где известны месторождения полезных ископаемых, должны выделяться:

— площади эксплуатируемых месторождений;

— площади полей и месторождений, где ведутся разведочные работы;

— площади с установленными проявлениями полезных ископаемых, в пределах которых ведутся детальные поиски или поисково-оценочные работы.

Предложенная легенда к карте прогноза является лишь одним из вариантов условных обозначений по отдельным частям легенды. Разработка всех деталей и особенностей этих знаков и обозначений должна выполняться для конкретных геологических условий.

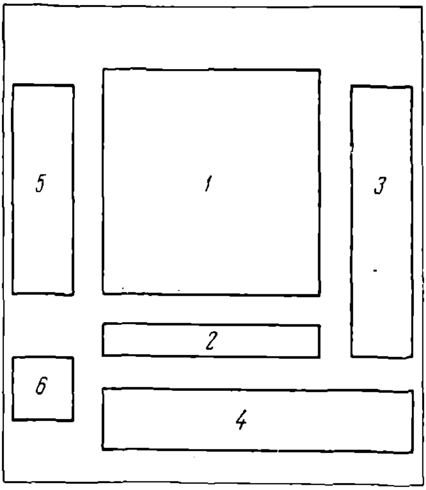


Рис. 46. Схема оформления листа карты прогноза.

1 — карта прогноза; 2 — прогнозные разрезы; 3 — условные обозначения; 4 — таблица месторождений и проявлений; 5 — схема взаимоотношения структурных этажей, интрузивных комплексов и полезных ископаемых; 6 — схема положения района в металлогенической провинции

Общее оформление карты прогноза включает (рис. 46): карту прогноза; условные обозначения; схему взаимоотношения интрузивных пород, структурных этажей и полезных ископаемых; схему положения района в металлогенической (минерагенической) провинции; таблицу классификации месторождений и проявлений полезных ископаемых района; прогнозные разрезы.

В качестве примера прогнозной части легенды приведем подписи к условным обозначениям для карт прогноза Рудного Алтая, разработанные под руководством Д. И. Горжевского, П. Ф. Иванкина и др. Прогнозируемые площади: *А* — площади перспективные; *А — I* — перспективные фланги известных месторождений (перспективные площади первой очереди). Участки, наиболее перспективные для поисков оруденения с проекцией прогнозируемых рудных тел: *1* — на глубине до 500 м; *2* — на глубине 500—1200 м. *А — II* — площади развития рудовмещающих толщ, рудоносных структур и многочисленных поисковых признаков (перспективные площади первой очереди). Участки, наиболее перспективные для поисков месторождений: *3* — на глубине до 300—500 м, *4* — на глубине свыше 300—500 м. *А — III* — площади развития рудовмещающих толщ, рудоносных структур и отдельных поисковых признаков (перспективные площади второй очереди). Участки наиболее перспективные для поисков месторождений: *5* — на глубине до 300 м, *6* — на глубине свыше 300 м.

Б — площади мало перспективные: *7* — площади, располагающиеся в сравнительно неблагоприятной геологической обстановке с единичными поисковыми признаками. *В* — площади, слабо изученные — *8*.

Виды работ, рекомендуемые на перспективных площадях (указаны цифрами в порядке очередности): *9* — детальная геологическая съемка, *10* — детальная литогеохимическая съемка по коренным породам, *11* — детальная литогеохимическая съемка по почвенным и рыхлым отложениям, *12* — детальная магнитометрическая съемка, *13* — детальная гравиметровая съемка, *14* — ВЭЗ, *15* — детальная съемка методами ЕП, ВП, МПП, *16* — поисковое и поисково-разведочное бурение (показываются линии рекомендуемых скважин, а на картах масштаба 1 : 10 000, кроме того, — места заложения скважин), *17* — методы скважинной геофизики (МЭК, заряда, ПВП, ВП, ЕП и др.).

В отдельных случаях при наличии соответствующих материалов на карте прогноза могут быть отражены сведения о прогнозных запасах полезных ископаемых, которые предполагаются для отдельных типов проявлений полезных ископаемых, для перспективных зон и в целом для всего исследованного района. Эти сведения должны быть конкретизированы для определенных глубин, в пределах которых производился такой подсчет прогнозных запасов.

В последние годы, после выхода в свет книги Е. Т. Шаталова и др. [128], появилось большое количество работ, в которых рассматриваются принципы и примеры составления карт прогноза для обоснования поисков месторождений различных типов полезных ископаемых.

В этих работах обычно рекомендуется составлять карту прогноза на специальной прозрачной накладке к металлогенической карте или карте полезных ископаемых, показывая на ней прогнозные площади и другие данные прогнозного типа.

Опыт работы автора и ряда других геологов показывает, что более рационально карту прогноза составлять в виде единой карты (без накладок), отражающей тектоническую основу, а также металлогенические (минерагенические) и прогнозные данные. При такой методике более удобно анализировать и сопоставлять все сведения геологического, минералогического, геохимического, геофизического и прогнозного характера.

Глава 4

ОБЩИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗА СКРЫТЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Прогноз и поиски полезных ископаемых начинаются с тех месторождений, которые выходят на поверхность. Продолжение поисковых работ в данном районе с каждым годом сокращает возможности выявления подобных объектов. Постепенно все

большее значение приобретает проблема прогноза и поисков скрытых месторождений. В итоге в настоящее время геологам приходится осуществлять работу в двух направлениях: искать месторождения, выходящие на поверхность, а также прогнозировать и вести поиски скрытых месторождений.

Скрытые месторождения и месторождения, выходящие на поверхность, имеют не только общие черты сходства, но и существенные отличия. Сходство однотипных скрытых и выходящих на поверхность месторождений выражается прежде всего в их близких условиях образования. В связи с этим имеется полное основание для использования в целях прогноза общих предпосылок и признаков поискового прогнозирования. Отличия скрытых месторождений от однотипных месторождений, выходящих на поверхность, выражаются в различной глубине залегания верхней кромки месторождений, в особенностях морфологии тел полезных ископаемых, их минерального состава и зональности, а также в характере создаваемых ими геологических и геофизических аномалий. Поскольку эти отличия скрытых месторождений влияют на прогноз и методику их поисков, остановимся на их рассмотрении [5, 6, 7].

Глубина залегания верхней кромки скрытых месторождений колеблется в широких пределах на различных структурах земной коры (рис. 47, данные по 100 объектам). В фундаменте древних платформ глубина залегания погребенных магматических, метаморфических и коры выветривания месторождений находится в пределах от 30—100 до 800—1000 м от поверхности; в чехле этих платформ глубина залегания погребенных осадочных месторождений от 40—100 до 1000—2000 м, слепых магматических месторождений — от 30 до 300—350 м. В фундаменте платформ палеозойского возраста глубина залегания погребенных месторождений всех типов колеблется от 20—100 до 250—500 м; в чехле платформ осадочные месторождения залегают на глубине от 10—15 до 200—250 м. В осадочном чехле краевых и внутренних прогибов глубина погребенных осадочных месторождений от 50—100 до 300—600 м и более, слепых месторождений 150—500 м. В складчатых зонах различного возраста известная глубина залегания верхней кромки погребенных под рыхлыми отложениями или базальтами месторождений колеблется от 10—30 до 100 м, слепых постмагматических месторождений — от 10—50 до 250—500 м, реже 700—1200 м. Во впадинах складчатых зон для погребенных осадочных месторождений известны глубины от 25—50 до 300—600 м, для слепых постмагматических — от 15—20 до 200—400 м.

Таким образом, в отличие от месторождений, выходящих на поверхность, прогноз и поиски скрытых месторождений должны быть ориентированы на первоочередной интервал глубин от первых десятков метров до 1000—1200 м, в пределах которого могут

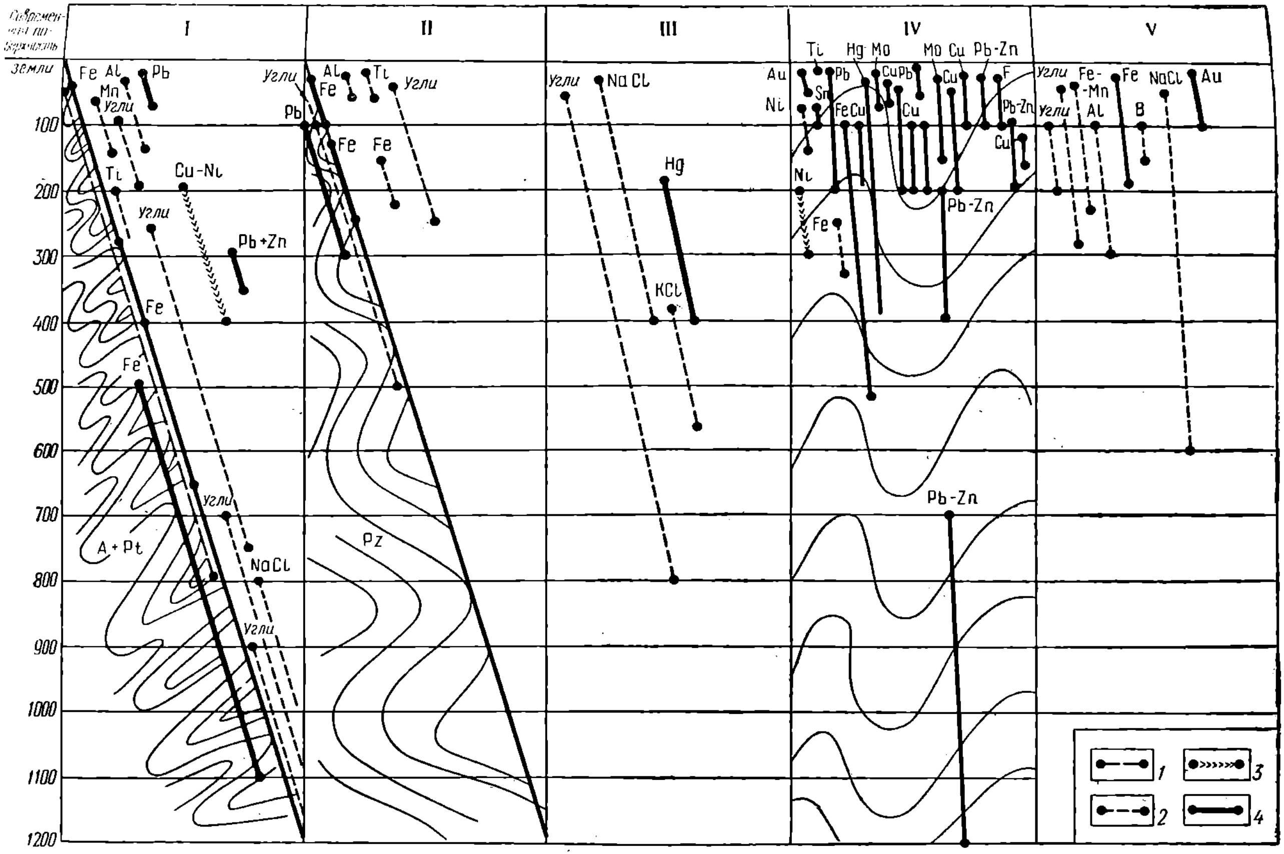


Рис. 47. Схема распределения глубин залегания верхней кромки некоторых скрытых месторождений твердых полезных ископаемых в различных тектонических условиях:

I — на платформах с докембрийским фундаментом; II — на платформах с палеозойским фундаментом; III — краевых и внутренних прогибах; IV — в складчатых зонах; V — во впадинах складчатых зон. Пределы глубин верхней кромки скрытых месторождений: *1* — коры выветривания, *2* — осадочных, *3* — магматических, *4* — постмагматических

быть выявлены скрытые месторождения различных типов полезных ископаемых.

Морфология скрытых тел полезных ископаемых может существенно отличаться от морфологии тел, выходящих на поверхность, что объясняется изменением характера тектонических структур, вмещающих пород и других факторов. Например, на медноколчеданном месторождении Шамлуг верхние части рудных тел, иногда обнажающиеся на поверхности, имеют форму крупных штоков, а на глубине они переходят в жилообразные залежи. Местами эти рудные жилы не имеют видимой связи с вышележащими штоками и являются по существу слепыми рудными жилами.

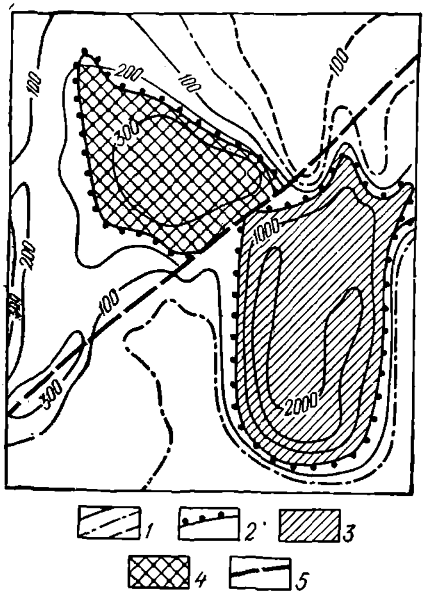


Рис. 48. Изменение интенсивности геофизических (магнитных) аномалий в зависимости от глубины залегания объекта (по А. М. Виноградову)

1 — изодинамы; 2 — контуры серпентинитовых массивов; 3 — массив, выходящий на поверхность; 4 — проекция скрытого массива (глубина 600—800 м); 5 — предполагаемое разрывное нарушение

Минеральный состав скрытых тел также может иметь свои особенности по сравнению с рудными телами, обнажающимися на поверхности, что объясняется различной глубиной их формирования. Примером могут служить рудные тела Никопольского месторождения марганцевых руд, представленных главным образом окисными разностями, и скрытые рудные залежи Бол. Токмакского месторождения, в которых большое значение приобретают карбонатные разности руд. В данном случае смена окисных руд карбонатными в направлении падения рудного пласта сопровождается также сменой песчаного терригенного материала глинистым.

Зональность является одним из важных параметров, используемых для прогноза скрытых месторождений, особенно эндогенного типа. Для них характерна приуроченность к наиболее глубоким зонам общей зональности рудных полей, месторождений и отдельных рудных тел [192]. Например, выходящие на поверхность проявления барита на площади полиметаллической провинции или рудного поля могут свидетельствовать о возможном наличии скрытого свинцово-цинкового оруденения на глубине.

Характер аномалий геохимических и геофизических, создаваемых телами полезных ископаемых и фиксируемых на поверхности земли, может изменяться в зависимости от глу-

бины и условий залегания этих тел. Для геохимических аномалий, обусловленных скрытыми телами, отмечается ослабление их отчетливости или полное исчезновение на поверхности по мере увеличения глубины их залегания. Отдельные участки аномалий могут иногда фиксироваться на поверхности только на некоторых площадях, где проявляются глубокие разрывные нарушения, вдоль которых геохимические аномалии создают апофизы повышенной протяженности. Некоторые типы геофизических аномалий также характеризуются уменьшением отчетливости (интенсивности) в зависимости от глубины залегания верхней кромки объекта (рис. 48).

Перечисленные особенности скрытых месторождений, отличающие их от однотипных месторождений, выходящих на поверхность, необходимо учитывать при разработке соответствующих прогнозов.

В основу прогноза скрытых месторождений принимаются такие предпосылки и признаки поискового прогнозирования, которые являются определяющими для данной группы месторождений в пределах конкретного генетического типа. Сочетание предпосылок и признаков и последовательность их использования при прогнозе скрытых месторождений могут быть различными. Причем некоторые предпосылки приобретают значение ведущих на первом этапе прогноза, другие — на заключительном этапе. В итоге составляются карты прогноза, которые для обоснования поисков скрытых месторождений в настоящее время являются обязательными. На них наносятся контуры скрытых продолжений месторождений, выходящих на поверхность, предполагаемых новых скрытых месторождений или тел полезных ископаемых, а также скрытых зон распространения определенных типов полезных ископаемых.

Если рассматривать проблему поисков скрытых месторождений в историческом аспекте, то следует указать, что открытие их было сделано по-разному. Некоторые скрытые месторождения, особенно в последнее время, были обнаружены на основе глубоко разработанных прогнозов, завершавшихся составлением карт прогноза. Большая группа скрытых месторождений выявлена без таких карт прогноза, но на основе известных поисковых предпосылок и признаков. И, наконец, имеются и такие скрытые месторождения, которые были обнаружены «случайно» при проведении общих геологических исследований. Однако и в данном случае эти исследования были поставлены с учетом возможности установления наличия полезных ископаемых.

Таким образом, выявление скрытых месторождений всегда связано с предварительным прогнозированием благоприятных геологических структур или непосредственно конкретных месторождений определенного генетического типа.

В настоящее время прогноз скрытых месторождений рекомендуется осуществлять на объемных картах прогноза.

РАЗДЕЛ III

МЕТОДИКА ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Глава 1

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ МЕТОДИКИ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Методика поисков полезных ископаемых представляет собой сочетание методов поисков и последовательности их проведения для выявления и предварительной оценки месторождений полезных ископаемых.

Главными принципами, положенными в основу методов поисков, являются характеристики геологических, минералогических, геохимических и геофизических аномалий, которые создаются полезными ископаемыми или структурами их вмещающими. Аномалии выявляют и оконтуривают путем изучения геологических, минералогических, геохимических и геофизических полей, характер которых связан с особенностями геологического строения конкретного региона, района или площади.

В зависимости от типа изучаемых полей и аномалий методы поисков полезных ископаемых подразделяются на четыре группы: геологические, минералогические, геохимические и геофизические. Проверка результатов всех поисковых методов осуществляется горно-буровыми методами.

В указанные группы входят методы поисков давно известные и новые. Сочетание тех и других позволяет успешно решать задачи по выявлению и предварительной оценке месторождений различных полезных ископаемых.

Изучение полей и оконтуривание аномалий может производиться отдельными методами или их комплексом путем площадной съемки или профильными (маршрутными) пересечениями.

Площадная съемка с помощью одного поискового метода или их комплекса позволяет получить наиболее полную картину поля, так как выполняется по относительно равномерной сети наблюдений. При этом полученные данные можно распространять между точками наблюдений в основном методами ограниченной интерполяции (рис. 49, *а*), что повышает достоверность составляемых карт, разрезов.

Профильные (маршрутные) пересечения, выполняемые одним методом или комплексом их, позволяют

выявлять лишь общие черты поля и оконтуривать отдельные, наиболее заметные крупные аномалии. Результаты наблюдений здесь интерполируются на значительных расстояниях между профильными пересечениями или экстраполируются за их пределами. В связи с этим при построении карт и разрезов появляются многовариантные решения и, следовательно, резко уменьшается их точность и достоверность (рис. 49, *б*).

П о и с к о в а я с е т ь представляет собой совокупность точек наблюдений, выполненных тем или иным поисковым методом

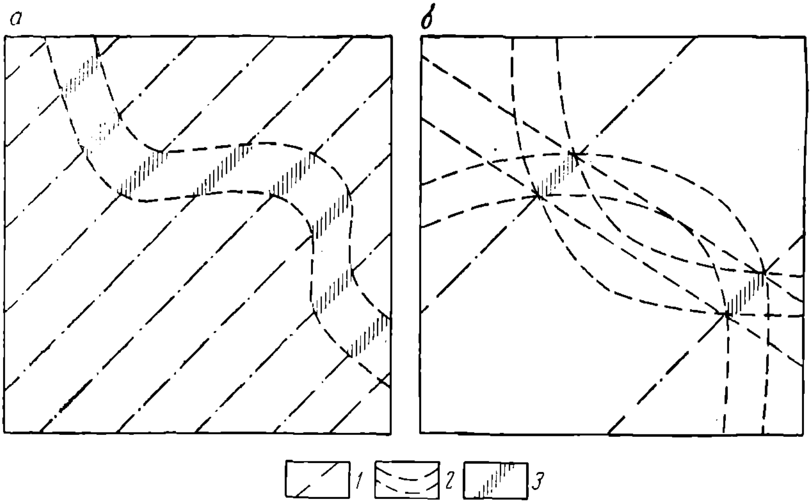


Рис. 49. Схема проведения поисков способами площадной съемки (*а*) и по отдельным профилям (*б*).

1 — поисковые профили (маршруты); 2 — контуры геологического объекта (рудного пласта); 3 — наблюденные интервалы объекта

для выявления месторождений полезных ископаемых или их признаков. Параметрами поисковой сети являются: плотность (густота) и ориентировка. Плотность сети определяется сочетанием расстояний между профилями (маршрутами) L и расстояний между точками наблюдений на профилях (маршрутах) l; ориентировкой — направлением (азимутом) профилей.

Расчет параметров поисковой сети производится в зависимости от особенностей геологического и геоморфологического строения района (участка), возможных ожидаемых объектов, масштаба поисковых работ, а также стадии их выполнения.

В методике проектирования поисковой сети выделяется два направления: геологическое и математическое.

Г е о л о г и ч е с к о е н а п р а в л е н и е основано на учете характера и ориентировки элементов геологического и геоморфологического строения. Проектирование поисковой сети согласно этому направлению возможно при наличии определенных геологических

геологических и геоморфологических данных. Математическое направление используется в тех случаях, когда объем таких данных весьма ограничен или некоторые из них, например данные о размерах и характере размещения ожидаемых объектов, отсутствуют.

Для расчета поисковой сети в соответствии с геологическим направлением на I стадии предварительных поисков используют инструктивные указания, составленные на основе обобщения опыта выполнения подобных работ. На II стадии, когда осуществляются детальные поиски и поисково-оценочные работы, расчет параметров поисковой сети можно производить не только по инструктивным указаниям, но и с применением математических методов.

Общее правило расчета параметров поисковой сети заключается в том, чтобы в среднем на 1 см^2 карты соответствующего масштаба приходилось не менее одной точки наблюдения любым поисковым методом. Более точный расчет сети связан с особенностями каждого метода, характером объекта поисков, условиями проведения поисковых работ.

Поскольку одни и те же объекты поисков могут создавать поля и аномалии, отличающиеся по форме, размерам и деталям строения, параметры поисковой сети в зависимости от применяемого метода поисков (геологические, минералогические, геохимические, геофизические) также будут различными. При одной и той же плотности поисковой сети наблюдений, выполненных разными поисковыми методами, степень достоверности изображения поля и аномалий может быть различной (рис. 50). Для одних методов эта сеть будет приближаться к той, которая позволяет получать истинные контуры (например, геологические и геофизические методы). Для других методов эта же сеть будет явно недостаточной в отношении плотности точек наблюдений для того, чтобы получить достоверные результаты (например, геохимические методы). Данное обстоятельство учтено в соответствующих инструктивных указаниях. Так, при геологической съемке масштаба 1 : 50 000 геологические и поисковые наблюдения ведутся по сети в среднем 500 × 500 м, а сопровождающее съемку литогеохимическое опробование рыхлых отложений — по сети 500 × 50 м.

Общие принципы проектирования сети геологических и поисковых наблюдений на I стадии работ заключаются в следующем:

— в складчатых областях сеть маршрутов проектируется в зависимости от рельефа — по долинам рек, их склонам и водоразделам (рис. 51, *а*);

— на платформах (плитах) сеть картировочных скважин ориентируется в меридиональном и широтном направлениях, если отсутствуют данные о простирании структур (рис. 51, *б*).

На II стадии — общих или детальных поисков — может применяться сочетание маршрутов или профилей по рельефу с профилями, которые намечают по определенным линиям, ориентированным в соответствии с геологическими данными. При этом

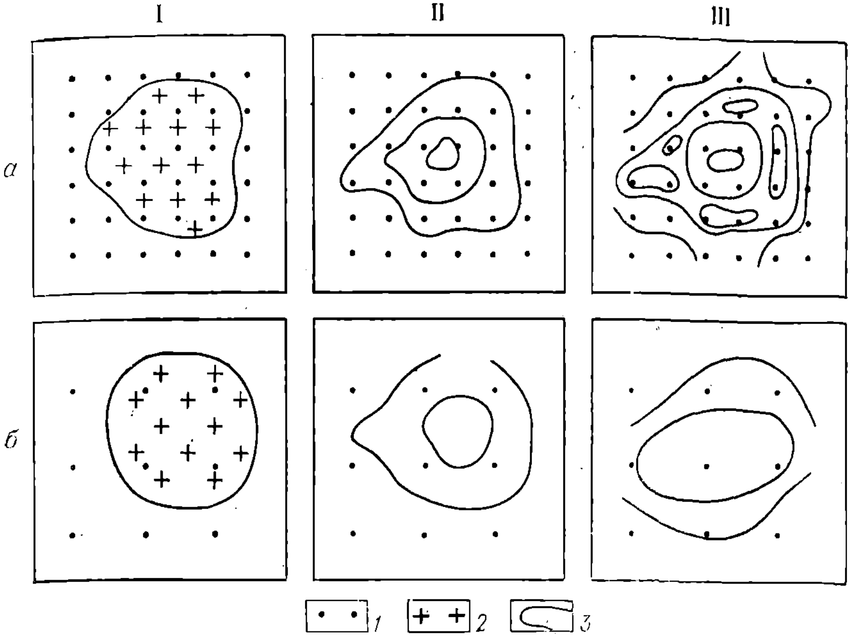
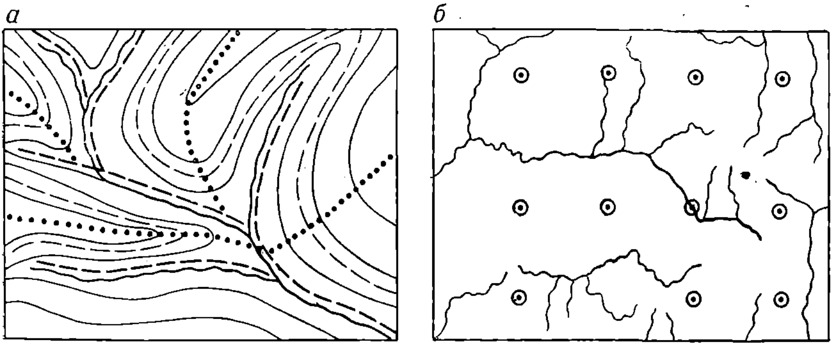


Рис. 50. Схема изменения контуров полей (I — геологического; II — геофизического, III — геохимического) в зависимости от различной плотности поисковой сети (*а* и *б*).

1 — точки наблюдения; 2 — граниты; 3 — изолинии поля



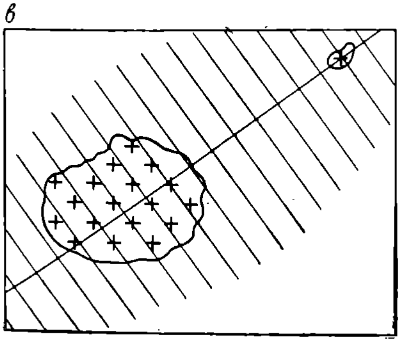


Рис. 51. Схемы расположения поисковых и геологосъемочных маршрутов (профилей) в различных условиях.

а — в горном районе складчатой области; *б* — на плитах; *в* — в степном районе складчатой области с интрузивными телами.

1 — маршруты; 2 — скважины; 3 — профили

необходимо учитывать возможность использования профилей для проведения работ разными поисковыми методами. Например, в одном из районов развития посторогенных гранитных интрузивов, с которыми прогнозируется связь месторождений олова и вольфрама, рационально было наметить следующую ориентировку поисковой сети (рис. 51, *в*):

— магистральный профиль (магистраль) соединяет выходящие на поверхность гранитные интрузивы;

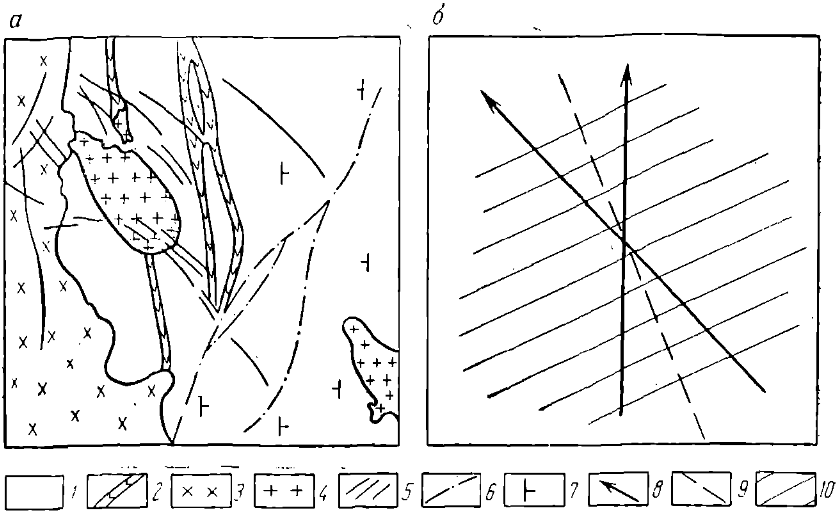


Рис. 52. Выбор рациональной ориентировки поисковой сети в районе со сложным геологическим строением.

а — геологическая карта. Палеозой: *1* — вулканогенно-осадочная толща; *2* — гипербазиты; *3* — диориты. Мезозой: *4* — граниты рудоносные; *5* — дайки; *6* — разломы; *7* — элементы залегания.

б — схема, отражающая ориентировку осевых линий мезозойских интрузивов, линий простирания складчатых структур и контактов палеозойских образований (*8*), линии равнодействующей (*9*), а также профилей рекомендуемой поисковой сети *10*)

— опорные профили, перпендикулярные магистрали, размещаются на расстояниях, соответствующих масштабу проводимых работ;

— участки детализации, требующие более высокой плотности точек наблюдения, имеют поисковую сеть, ориентированную в соответствии с характером структур, но увязанную с опорной сетью.

В некоторых районах ориентировка главных структур или геологических образований различна. Например, в одном из районов складчатые структуры имеют меридиональное простирание осевых линий, а пояс малых интрузивов простирается в северо-западном направлении (рис. 52). Принимая во внимание, что и те и другие образования могут иметь значение для прогноза и поисков постмагматических месторождений, приходится выбирать некую среднюю ориентировку профилей (маршрутов) поиско-

вой сети, перпендикулярно к равнодействующей между двумя указанными направлениями. Такой равнодействующей линией в данном случае будет линия субмеридионального (север-северо-западного) простирания, а поисковая сеть будет ориентирована в северо-восточном направлении.

Математическое направление расчета параметров поисковой сети основано на положениях И. Д. Савинского [159], которым составлены таблицы вероятности подсечения

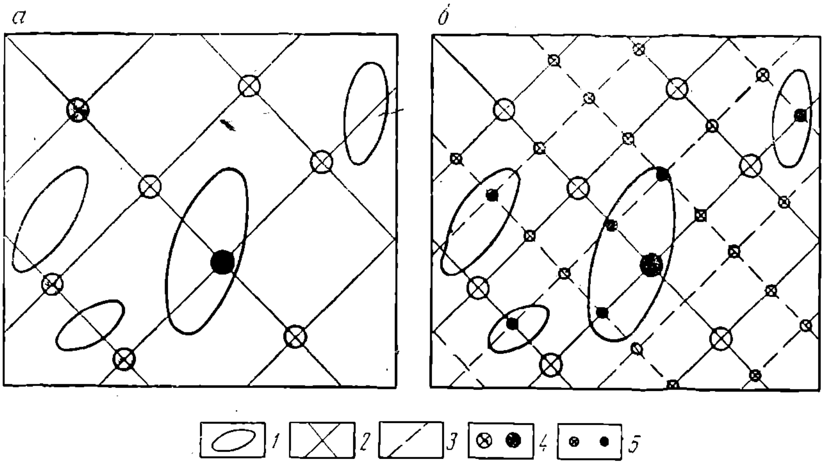


Рис. 53. Схема вероятности обнаружения объектов при различной плотности поисковой сети (*а*, *б*).

1 — объекты поисков; поисковая сеть: *2* — первого этапа, *3* — второго этапа; *4* и *5* — скважины (пустые и рудные) соответственно первого и второго этапов

эллиптических объектов прямоугольной сетью. Для расчета применяется следующее выражение

$$K = \frac{N}{PM},$$

где P — вероятность обнаружения аномалии (объекта);
M — число аномалий, приходящихся на 1 км^2;
N — число точек наблюдений на 1 км^2;
K — среднее число точек, приходящихся на каждую обнаруженную аномалию. При $M = 1$ $K = N/P$.

На рис. 53 показано, что при различной плотности сети вероятность обнаружения объектов поисков будет различной.

Используя этот принцип, А. М. Шурыгин [195] рассчитал оптимальную сеть для поисков объекта изометрической формы — круглой и эллиптической. Им приводится следующий пример расчета.

На площади $S = 7$ км² для поисков залежи размером 200×1000 м (удлинение $k = 5$) целесообразно пробурить 40 скважин (n). Для расчета оптимальной поисковой сети автором выведены эмпирические формулы:

$$L = 0{,}93 \sqrt{\frac{Sk}{n}},$$

где L — расстояние между профилями;

$$l = 1{,}075 \sqrt{\frac{S}{nk}},$$

где l — расстояние между скважинами на профиле.

Подставляя принятые значения, получим:

$$L = 0{,}93 \sqrt{\frac{7 \cdot 5}{40}} = 0{,}870 \text{км}, \; l = 1{,}075 \sqrt{\frac{7}{40 \cdot 5}} = 0{,}201 \text{ км}.$$

Таким образом, поисковая сеть скважин должна иметь параметры — 201 × 870 м, сеть шахматная.

В. С. Булгаков и В. И. Панченко [24] приводят расчет наиболее экономичной сети для поисков эллиптических объектов по формуле

$$P = \frac{S}{S_v},$$

где S — площадь сечения объекта поисков, S_v — площадь влияния скважины соответствующей поисковой сети. Вероятность обнаружения объекта эллиптической формы рассматривается на примере пегматитовых тел с пьезокварцем, для которых $S = 40$ м², а $S_v = 8000$ м² (сеть прямоугольная 80×100 м). Вероятность обнаружения объекта при такой сети будет

$$P = \frac{40}{8000} = 0{,}005.$$

Для других параметров вероятность показана в табл. 17.

Для выбора оптимальной поисковой сети необходимо учитывать также стоимость обнаружения одного объекта (см. табл. 17).

Наиболее рациональной (оптимальной) считается такая поисковая сеть, которая имеет бо́льшую вероятность обнаружения объекта и приемлемую стоимость поисковых работ. В данном примере (см. табл. 17) этому требованию будет удовлетворять сеть 20×25 м (для нее $P = 0{,}4$, а стоимость работ 1500 тыс. руб. на 1 м²).

О. Г. Семенова и Ю. Д. Евдокимов [167] считают, что параметры поисковой сети должны определяться на основе оценки соотношений между плотностью сети, стоимостью поисков и ожидаемым эффектом, который может выражаться в прогнозных запасах. Для решения подобной задачи они предлагают использование специальных программ «Поиск», «Сеть», расчет которых ведется на ЭВМ.

Таблица 17

Вероятность обнаружения объекта при различных параметрах поисковой сети (схематизировано, по В. С. Булгакову и В. И. Панченко)

№ объекта	Площадь объекта S, м²	Параметры поисковой сети			
		80×100 м	40×50 м	20×25 м	10×12,5 м
1	40	0,005	0,02	0,08	0,3
2	80	0,01	0,04	0,16	0,6
3	400	0,05	0,2	0,8	3,0
Среднее значение P, соответствующее ближе всего площади сечения $S = 250$ м² . . .		0,03	0,1	0,4	0,8
Стоимость поисковых работ на 1 км² (условный пример в тыс. руб.)		94	375	1500	6000

В целом использование преимущественно математических методов расчета параметров поисковой сети и анализ ее результатов возможны на стадии детальных поисков и поисково-оценочных работ и прежде всего для обнаружения объектов, не создающих отчетливых геохимических и геофизических аномалий.

Во всех других случаях параметры поисковой сети должны рассчитываться на основании конкретных данных о геологическом и геоморфологическом строении района или площади, возможных размеров ожидаемых объектов поисков, масштаба и стадии поисковых работ. Подобный расчет может быть выполнен при правильном сочетании геологического и математического направлений.

Глава 2

КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В настоящее время известно несколько классификаций методов поисков полезных ископаемых (Крейтер [93, 94]; Смирнов [170]; Красников [92]; Аристов [180] и др.). Учитывая существующие классификации, а также новые направления в развитии поисковых методов, автор разработал их сводную классификацию (табл. 18).

Таблица 18

Классификация современных методов поисков полезных ископаемых

Класс методов (по общим условиям применения)	Космические	Воздушные (аэрометоды)	Наземные	Подводные
Подкласс методов (по техническим средствам осуществления)	Со спутников С космических межпланетных кораблей С планетоходов	С самолетов С вертолетов С дирижаблей Десантные операции	Пешеходные маршруты С автомобилей, вездеходов	С надводных кораблей С подводных кораблей Аквалангистами
Группа методов (по характеру изучаемых полей и аномалий)				
Геологические	Визуальные наблюдения Дешифрирование фотоснимков	Аэровизуальные геологические и поисковые наблюдения. Дешифрирование (геологическое и поисковое) аэрофотоматериалов	Геологическая съемка Поисковые маршруты	Геологическая съемка Поисковые маршруты
Минералогические	Минералогическое опробование поверхности планет	Минералогическое опробование в десантном варианте	Метод выявления и оценки выходов полезных ископаемых Методы выявления и оценки ореолов рассеяния минералов в рыхлых отложениях: валунно-ледниковый обломочно-речной шлиховой	Шлиховой метод

			Методы выявления и оценки ореолов рассеяния минералов в коренных породах: минералогическая съемка протолочно-шлиховой	
Геохимические	Геохимическое опробование поверхности планет	Аэрогаммаспектроскопическая съемка Аэроспектрозональная съемка Геохимическое опробование в десантном варианте	Литогеохимический: по рыхлым отложениям по коренным породам Гидрогеохимический: по поверхностным водам по подземным водам Биогеохимический и геоботанический Атмогеохимический метод	Литогеохимический: по рыхлым отложениям по коренным породам Гидрогеохимический
Геофизические	Геофизические исследования	Аэромагнитная съемка Аэрогаммасъемка Аэроэлектрометрическая съемка Аэротермометрическая съемка Геофизические исследования в десантном варианте	Магнитометрический Гравиметрический Сейсмометрический Электрометрический Радиометрический Ядернофизические Термометрические Биофизический	Магнитометрический Гравиметрический Сейсмометрический Электрометрический Радиометрический Ядернофизические Термометрические
Группа методов проверки Горно-буровые методы	Бурение на поверхности планет	Проходка горных выработок и бурение скважин в десантном варианте	Проходка горных выработок и бурение скважин	Проходка горных выработок и бурение скважин

Все современные методы поисков полезных ископаемых могут быть классифицированы по следующим принципам:

— класс методов по общим условиям применения в различных оболочках Земли и за ее пределами;

— подкласс методов по главным техническим и транспортным средствам выполнения поисковых наблюдений;

— группа методов по общему характеру изучаемых полей и аномалий;

— разновидности метода по геологическим условиям применения, типам полей и аномалий или техническим особенностям осуществления метода.

Выделяется четыре класса методов поисков, последовательность приводимого в табл. 18 перечисления которых связана не с их значением, а с удобством рассмотрения по оболочкам Земли сверху вниз: космические, воздушные (аэрометоды), наземные и подводные. Принимаемый порядок рассмотрения, кроме того, позволяет переходить от обзорных (планетарных) поисков, которые ведутся при космических исследованиях, к поискам региональным и детальным, осуществляемым в условиях атмосферы, на поверхности земли и под водой морей и океанов. Наземные методы поисков по своему значению являются ведущими для выявления месторождений полезных ископаемых на континентах, где пока сосредоточено подавляющее количество поисковых работ.

В каждом классе выделяются подклассы методов. Например, в классе космических методов выделены методы, применяемые со спутников Земли; осуществляемые с космических межпланетных кораблей (с космонавтами на борту или кораблями-автоматами); применяемые с помощью специальных планетоходов. В классе воздушных методов указаны методы, используемые для наблюдений с самолетов, с вертолетов, с дирижаблей или с применением десантных операций.

Класс наземных методов включает методы, которые могут быть отнесены к подклассу пешеходных маршрутов или к подклассу методов, осуществляемых путем непрерывных наблюдений с автомобилей или вездеходов (например, автогаммасъемка). В классе подводных методов выделяются подклассы методов, выполняемых с надводных кораблей, подводных кораблей или аквалангистами. Внутри каждого класса и подкласса выделяются следующие группы методов поисков, основанных на характере аномалий, создаваемых полезными ископаемыми или структурами их вмещающими: геологические, минералогические, геохимические и геофизические.

Геологические методы поисков, основанные на выявлении характера геологических аномалий, т. е. тех образований, которые благоприятны для локализации полезных ископаемых, являются главным средством познания природных объектов. Все остальные методы подчинены тем задачам, которые решаются с помощью

геологических методов. На основе последних производится интерпретация результатов, полученных другими методами поисков.

Минералогические методы основаны на выявлении и оконтуривании минералогических аномалий (ореолов рассеяния), указывающих на присутствие полезных ископаемых.

Геохимические методы основаны на выявлении и оконтуривании геохимических аномалий (ореолов рассеяния), сопровождающих месторождения полезных ископаемых.

Геофизические методы основаны на выявлении и оконтуривании геофизических аномалий, которые могут являться предпосылками, а иногда и признаками поискового прогнозирования полезных ископаемых.

Горно-буровые методы, с одной стороны, являются главным техническим средством проверки результатов всех других методов, а с другой — имеют и самостоятельное поисковое значение в тех случаях, когда все другие не могут выявить отчетливых аномалий, которые могли бы служить объектом для поисков месторождений полезных ископаемых.

Рассмотрим характеристику выделенных в классификации методов поисков полезных ископаемых.

Космические методы поисков

Космические методы исследования применяются для изучения Земли и других планет с различными целями, в том числе и для определения перспектив поисков полезных ископаемых.

Спутники Земли подразделяются на космические корабли типа «Союз» (с космонавтами на борту), научные орбитальные станции типа «Салют» (с космонавтами на борту или работающие в автоматическом режиме) и корабли-автоматы типа «Космос», «Метеор» и др.

Со спутников Земли можно картировать планетарные геологические структуры и образования, имеющие значение для прогноза и поисков полезных ископаемых: планетарные глубинные разломы; планетарные пояса развития полезных ископаемых, в том числе расположенные на континенте или скрытые под водами морей и океанов.

В настоящее время имеются многочисленные фотокарты поверхности Земли, на которых такие поля могут быть дешифрированы. Одним из больших преимуществ космического картирования со спутников является планетарный обзор территорий и экономия количества снимков, которое для этого необходимо. Изображения земной поверхности, получаемые в космосе, могут непосредственно фиксироваться на фотопленке или передаваться на Землю средствами телевидения.

Космические межпланетные корабли, применяемые как средства изучения других планет, могут быть двух типов: корабли с космонавтами (астронавтами) на борту

и корабли-автоматы. В соответствии с этим развиваются два основных направления в космических исследованиях планет. Одно из направлений осуществлялось американскими астронавтами на кораблях «Аполлон» при изучении Луны. В экспедиции на корабле «Аполлон-17» участвовал первый космический геолог Харрисон Шмитт, работа которого на поверхности Луны показала, что там необычайно трудные условия выполнения обычных геологических исследований в связи с отсутствием кислорода,

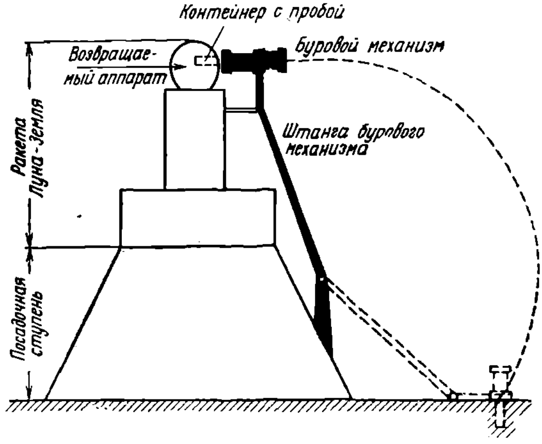


Рис. 54. Схема действия бурового механизма для отбора проб лунного грунта на станции «Луна-16»

громоздкостью скафандров и слабой силой тяжести. Вся программа работы экспедиции была рассчитана на возможное появление неожиданных аварийных ситуаций, которые требуют немедленного отлета с поверхности Луны. В связи с этим строилась и методика «полевых» работ: сбор «аварийного» комплекта лунных пород на месте прилунения, если потребуется срочный отлет; расстановка научной аппаратуры; бурение скважин глубиной до 2,5 м с отбором керна; подготовка лунного вездехода — тележки «Ровер»; маршруты на «Ровере».

Отдавая должное мужеству американских астронавтов, проявленному ими при выполнении исследований лунной поверхности, следует отметить, что программа их работ была весьма трудна и опасна для человека. Поэтому другое направление в исследовании планет (с помощью кораблей-автоматов) имеет серьезные преимущества.

Советские автоматические корабли системы «Луна» совершают исследования лунной поверхности с помощью возвращаемых автоматов или планетоходов длительного действия. Впервые корабль «Луна-16» произвел автоматическое бурение на Луне с отбором керна (рис. 54), который был доставлен на

Землю. Подобный же эксперимент был выполнен еще раз с корабля «Луна-20». Первый советский автоматический планетоход «Луноход-1» был доставлен кораблем «Луна-17». На луноходе был установлен специальный прибор «Рифма», предназначенный для определения содержаний химических элементов в лунном грунте. В 1973 г. на поверхности Луны работал «Луноход-2». Управление луноходами осуществлялось специальными экипажами с Земли по телевизионной связи. Впервые в истории геологических и поисковых работ была осуществлена автоматизация получения первичных данных, возможно, являющаяся прообразом методики изучения труднодоступных районов на поверхности Земли.

ВЫВОДЫ

Космические исследования представляют интерес не только в отношении общего изучения планет и выявления закономерностей распределения полезных ископаемых, но и для разработки новых или усовершенствования известных методов поисков полезных ископаемых на Земле. Условия космического пространства отличаются от обычных земных сверхжесткими параметрами, что требует от конструкторов применения наиболее простых, экономичных, надежных и эффективных решений при создании технических средств исследований. Результаты работы аппаратов, уже прошедших проверку в космических условиях, позволяют считать, что многие принципы их действия и размеры весьма интересны для разработки подобных средств и в наземных условиях. К таким приборам и аппаратам относятся: буровой агрегат на кораблях «Луна», «Рифма» на «Луноходе» и сам «Луноход», пробоотборники и буровые агрегаты американских кораблей «Аполлон», тележка «Ровер» и др.

Еще один аспект методики космических исследований имеет непосредственное отношение к геологическим и поисковым работам в земных условиях. Он касается сокращения «избыточной» (излишней) информации. Как отмечают Ю. Ходарев и В. Березин, исследования сигналов, передаваемых с космических кораблей (станций), показывают, что «излишние» сообщения могут составлять 60—70% общего потока информации. В условиях огромных расстояний, на которые передается эта информация (до Луны 385 тыс. км, до Венеры 350 млн. км), ее объем имеет очень важное значение. Сокращение «избыточности» дает уменьшение времени передачи информации и другие выгоды, а в итоге — увеличение дальности связи, ускорение обработки информации.

В наших земных условиях такой «избыточной» (излишней) информации также достаточно много и рациональное ее сокращение могло бы способствовать увеличению эффективности геологических и поисковых работ.

Воздушные методы (аэрометоды) поисков

Аэрометоды основаны на использовании авиационных средств для непосредственного выполнения геологических и поисковых работ и для повышения эффективности этих работ, осуществляемых в наземных условиях [76].

Авиасредства представлены самолетами и вертолетами (табл. 19), которые используются геологическими организациями по договорам с подразделениями ГВФ. В разработке находятся различные типы дирижаблей. При заключении договоров с ГВФ составляется схема воздушных связей, которые намечаются при проведении полевых геологических и поисковых работ.

Таблица 19

Типы самолетов и вертолетов, применяемых в геологии
(по данным А. А. Гаврилова, В. Г. Горшкова и А. Н. Рязанова, [37])

Тип самолета, вертолета	Скорость, км/ч	Коммерческая загрузка, т	Тарифная стоимость двойного часа (руб.)
ЯК-12	140	0,3	80
АН-2	180	1,3	160
ЛИ-2	230	2,35	240
ИЛ-14	300	3,35	360
АН-12	600	18,00	2000
МИ-1	130	0,225	210
КА-26	140	0,8	270
МИ-2	180	0,7	270
МИ-4	140	1,4	400
МИ-6	200	9,0	2200
МИ-8	200	3,0	1060

В классе аэрометодов поисков полезных ископаемых будет кратко рассмотрено использование основных групп методов — геологических, минералогических, геохимических и геофизических.

Геологические аэрометоды включают аэровизуальные наблюдения, дешифрирование аэрофотоматериалов и десантные операции. Аэровизуальные геологические и поисковые наблюдения могут осуществляться по маршрутам и на высотах, намечаемых руководителем работ. Рекогносцировочные полеты осуществляются на самолетах ЯК-12 и АН-2 на высотах 500—1500 м, контрольные полеты — на вертолетах МИ-2, МИ-1, КА-26 на высотах 250—500 м. Как указывают А. А. Гаврилов, В. Г. Горшков и А. Н. Рязанов [37], аэровизуальные наблюдения должны проводиться «бортоператорами геологии» — специалистами-геологами, геофизиками, умеющими правильно эксплуатировать специальную аппаратуру и приборы и годными по состоянию здоровья к летной работе.

Дешифрирование аэрофотоматериалов (геологическое и поисковое) является главным средством аэрометодов для познания геологического строения региона и закономерностей размещения полезных ископаемых. Поисковый смысл дешифрирования аэрофотоматериалов заключается в выявлении прямых или косвенных поисковых признаков, а также в разработке предпосылок поискового прогнозирования.

В настоящее время кроме обычных черно-белых аэроснимков для геологического и поискового дешифрирования используются снимки цветные, спектрозональные, а также снимки высотных, радарных и тепловых (инфракрасных) съемок.

На основе поискового дешифрирования этих материалов могут быть с той или иной степенью достоверности выделены: разломы, контролирующие размещение месторождений полезных ископаемых; продуктивные горизонты или свиты осадочных, вулканогенных и метаморфических пород; интрузивные тела, в том числе массивы, дайки, трубки; россыпи тяжелых минералов; жильные зоны с оруденением; следы старых и древних горных выработок, которые можно использовать для поисков новых месторождений. По данным дешифрирования аэроматериалов производится редактирование ранее составленных геологических карт и карт полезных ископаемых. При этом могут использоваться аэрофотоснимки детальных масштабов, особенно для тех участков, которые намечаются как перспективные в отношении полезных ископаемых. Дешифрирование аэрофотоматериалов является основой так называемой групповой геологической съемки, которая сопровождается предварительными поисками.

Как отмечают В. И. Башилов, Г. В. Махин и В. К. Еремин [14], хорошие результаты дает дешифрирование аэрофотоматериалов при поисках и предварительной оценке месторождений строительных материалов, так как многие из них связаны с литологией четвертичных отложений. При этом удается выделить: ленточные глины, супеси, суглинки, пригодные для изготовления кирпича и черепицы; аллювиальные и флювиогляциальные пески и пески с галькой, пригодные для строительства дорог и как наполнители бетона. При поисках рудных месторождений имеет значение дешифрирование разрывных нарушений. Связь рельефа поверхности с тектоникой фундамента и чехла на плитах отражается в линейных элементах ландшафта, строении долин рек, степени расчлененности и заболоченности местности, конфигурации речной сети.

Л. М. Герасимов и В. Ю. Лускина [44) считают возможным применять дешифрирование материалов высотной аэрофотосъемки для выявления структур, контролирующих проявления исландского шпата на платформе.

Большое значение для выполнения поисковых работ имеют десантные операции в труднодоступных районах. При этом должны соблюдаться следующие основные правила:

количество внеаэродромных посадок на естественные площадки или высадка из вертолета на режиме «висения» за рабочий день не должно превышать 10—20 в зависимости от рельефа [37]). Зависание вертолета разрешается на высоте от 0,5 до 10 м, от 10 до 200 м требуется разрешение командира авиаотряда.

Минералогические аэрометоды поисков осуществляются в десантных вариантах. Н. Н. Костенко, Н. В. Проскурин и Н. М. Чебдаров [89] описали опыт использования вертолета МИ-4 для отбора минералогических проб песков в условиях пустынного района Казахстана. Применение вертолета было вызвано тем, что попытки проехать через пески на ГАЗ-63 не дали положительных результатов. Методика работ: полет по заранее проложенным маршрутам через 25—30 км, зависание на месте отбора пробы на высоте 5—10 м в течение 5—8 мин. За 5-часовой рабочий день минералогической съемкой масштаба 1 : 500 000 покрывалось 200 км^2 площади.

Геохимические аэрометоды поисков находятся в начальной стадии развития. К ним можно отнести аэроспектрозональную съемку, которая в определенной степени позволяет фиксировать ореолы измененных пород и геохимические ореолы рассеяния. Весьма интересные перспективы имеет принцип, положенный в основу аэрогаммаспектроскопической съемки, по результатам которой удается выявить и оконтурить поля развития урана, тория и калия. Выявление калия особенно важно, так как аэроаномалии его связаны с ореолами развития калиеносных измененных пород — поисковых признаков на возможное наличие постмагматических месторождений ряда металлов. Геохимическое опробование может также выполняться в десантных вариантах.

Геофизические аэрометоды поисков полезных ископаемых характеризуются большой эффективностью. В настоящее время используются следующие методы: аэромагнитная съемка, аэрогаммасъемка, аэроэлектрометрическая съемка. С их помощью выявляются месторождения магнитных, сульфидных руд, урановых руд и других полезных ископаемых. Приобретает значение тепловая, или инфракрасная, съемка, которую можно отнести также к геофизическим методам поисков. Для повышения эффективности поисковых работ применяют детальные высокоточные аэрогеофизические съемки, например высокоточные аэромагнитные съемки, при прогнозировании ряда полезных ис опаемых [83].

ВЫВОДЫ

Аэрометоды геологической съемки и поисков полезных ископаемых давно уже получили широкое развитие, в настоящее время ведется не только усовершенствование известных методов, но и применение новых методов поисков (высотная съемка, тепловая съемка и др.).

При проектировании поисковых работ необходимо учитывать специальные нормы времени, если предлагается использование аэрометодов, так как одной из задач этих методов является сокращение сроков проведения поисковых работ и повышение их эффективности.

Наземные методы поисков

Наземные методы поисков являются ведущими среди других классов методов, так как они решают главную задачу — выявление подавляющего числа месторождений полезных ископаемых

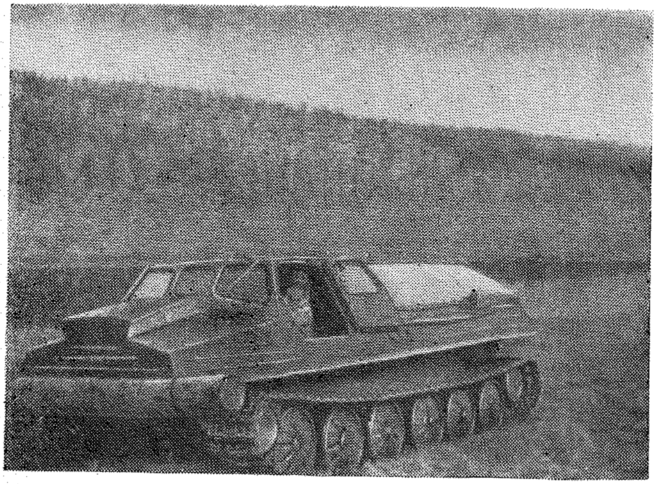


Рис. 55. Вездеход ГТТ в рейсе по перевозке снаряжения экспедиции, ведущей групповую геологическую съемку и поиски в одном из районов Сибирской платформы (фото В. К. Волкова)

на континенте. Наземные методы поисков полезных ископаемых могут осуществляться пешеходными маршрутами, а также с использованием различных транспортных средств: автомашин, тракторов, вездеходов (рис. 55).

Геологическая съемка как метод поисков

Геологическая съемка, имеющая целью составление геологической карты, в то же время является и процессом площадного обследования для выявления полезных ископаемых. В каждом геологосъемочном маршруте постоянно выполняются поисковые наблюдения по обнаружению проявлений полезных ископаемых и их признаков. На I стадии геологическая съемка сопровождается

предварительными поисками; на II стадии детальные поиски или поисково-оценочные работы сопровождаются геологической съемкой.

Результатами геологической съемки являются не только геологические карты, но и карты полезных ископаемых, металлогенические карты, карты прогноза и т. п. Один из самых важных результатов геологической съемки заключается в открытии месторождений полезных ископаемых. Известно очень много примеров таких открытий при проведении геологических маршрутов. Это месторождения Донбасса, Урала, Казахстана, Забайкалья, Средней Азии и других районов, в последние годы, например, Горевское полиметаллическое, Сарылахское сурьмяное месторождения и др. В США в 1945—1955 гг. 53,3% всех открытых месторождений выявлено при проведении геологических маршрутов.

Геологическая съемка является не только одним из методов поисков полезных ископаемых, но и научной основой комплексирования других поисковых методов. Поэтому имеет большое значение рассмотрение основных операций геологической съемки по этапам ее проведения (проектирование, полевые работы, камеральная обработка материалов), с которыми тесно связано планирование и использование всех других методов.

Проектирование геологической съемки включает прежде всего выбор площади и масштаба. Выбор площади геологической съемки на I стадии определяется планшетами государственной разграфки. На II стадии — площадь выделяется в пределах перспективной зоны на основе совокупности предпосылок и признаков поискового прогнозирования. Например, площадь для поисков экзогенных месторождений коры выветривания силикатного никеля должна включать массивы гипербазитов, выделенных в перспективной зоне развития коры выветривания. Для поисков и геологической съемки осадочных месторождений марганцевых руд перспективной зоной может являться прибрежная полоса бывшего морского бассейна. Площадь геологической съемки и поисков эндогенных месторождений, генетически связанных с гранитными интрузивами посторогенного типа, намечается таким образом, чтобы была охвачена перспективная зона развития этих интрузивных тел.

Выбор масштаба геологической съемки на I стадии определяется масштабом государственных планшетов, на которых проектируются эти работы. На II стадии масштаб поисков и геологической съемки зависит от размеров площади, которая выбрана на основе указанных выше принципов, учитывающих ожидаемую величину объектов поисков и особенности геологического строения. При этом рекомендуется ориентироваться на размеры стандартного планшета соответствующего масштаба: если площадь более 330 км^2 — масштаб 1 : 50 000; от 80 до 330 км^2 — 1 : 25 000; от 15 до 80 км^2 — 1 : 10 000; от 5 до 15 км^2 — 1 : 5000; менее 5 км^2 — 1 : 2000.

При проектировании геологической съемки и поисков следует проводить предварительное дешифрирование аэрофотоматериалов и составлять прогнозную схему геологического строения и особенностей проявления полезных ископаемых.

Кондиционность геологической съемки определяется необходимостью получения достаточного количества наблюдений не только по литологии, стратиграфии и другим геологическим параметрам, но и наблюдений поискового характера. Сеть геологических наблюдений, совпадающих с поисковой сетью, как отмечено выше, должна удовлетворять требованию в среднем не менее одной точки на 1 см² в масштабе карты. Более точные рекомендации содержатся в СУСН [176] (табл. 20).

Таблица 20

Количество точек наблюдений на 1 км², необходимых при геологическом картировании

Сложность геологического строения (категория)	1 : 200 000 сеть 2×2 км	1 : 50 000 сеть 0,5×0,5 км	1 : 10 000 сеть 0,1×0,1 км	1 : 5000 сеть 0,05×0,05 км
I	0,40	1,60	20	60
II	0,55	2,50	30	100
III	0,90	4,50	50	150

Полевые работы. При проведении полистной геологической съемки и поисков маршруты должны осуществляться пешим способом, в том числе и на труднодоступных участках.

Места обнаружения проявлений полезных ископаемых или их признаков должны в процессе геологической съемки отмечаться на местности специальными знаками: в степи каменными турами, в тайге затесами на деревьях и т. д.

Полевая документация любых признаков полезных ископаемых выполняется наиболее тщательно, так как от этого зависит разработка прогнозов. В настоящее время начинает внедряться система документации геологических и поисковых наблюдений на *перфокартах*, имеющих много преимуществ при обработке и обобщении полевых материалов.

Геологическая съемка должна сопровождаться специальными поисковыми методами. На I стадии к ним относятся шлиховое опробование, обломочно-речной, валунно-ледниковой, литогеохимический методы и др.; на II стадии специальные поисковые методы применяются в таком комплексе, который соответствует характеру ожидаемого объекта.

Камеральная обработка полевых материалов включает:

— изучение коллекций образцов, шлифов, аншлифов, при котором обязательными являются детальные исследования всех

признаков полезных ископаемых и возможных условий их локализации;

— составление картографических материалов по геологической съемке, предусматривающее обязательное составление карты полезных ископаемых или геологической карты с полезными ископаемыми, геоморфологической карты с данными об условиях ведения поисковых работ, металлогенической карты и прогнозной карты;

— составление отчета по геологической съемке, включающего разделы по полезным ископаемым и перспективам их поисков.

Минералогические методы поисков

Минералогические методы применяются для выявления и оконтуривания минералогических полей и выделения среди них минералогических аномалий (ореолов рассеяния), связанных с полезными ископаемыми. Группа минералогических методов включает:

— методы выявления (изучения) и оценки выходов полезных ископаемых на поверхности;

— методы выявления (изучения) и оценки ореолов рассеяния минералов: в рыхлых отложениях — валунно-ледниковый, обломочно-речной (русловой и склоновый), шлиховой; в коренных породах — метод минералогического картирования, протолочно-шлиховой метод.

Метод выявления и оценки выходов полезных ископаемых

Выход полезного ископаемого на поверхность земли представляет собой отчетливую минералогическую аномалию, которая может быть выявлена в процессе пешеходных маршрутов. Некоторые выходы полезных ископаемых обнаруживаются при аэровизуальных наблюдениях или дешифрировании аэроснимков. Однако в любом случае только детальное изучение минерального состава выхода полезного ископаемого позволяет отнести его к проявлению или месторождению. Выход полезного ископаемого можно изучать без вскрытия или после вскрытия его неглубокими горными выработками (расчистками, канавами, шурфами).

Этот метод предусматривает определение эндогенных и экзогенных минералов, изучение пустот от выщелачивания и установления количественных соотношений минеральных образований. Изучение минералов может выполняться макроскопически, а также с применением простейших микрохимических реакций (например, на свинец, олово и др.) и ядернофизических приборов типа «Боксит», «Минерал-3» и др. В необходимых случаях на выходе полезного ископаемого отбираются шлиховые пробы или пробы для химических анализов. Оценку выхода выполняют на основе изучения поведения минералов и химических элементов в экзогенных условиях. Выходы полезного ископаемого детально

документируют путем составления зарисовок, обнажений, глыб, обломков или фотографированием. Для получения данных о количественных соотношениях минералов полезного ископаемого и вмещающих минеральных агрегатов производят обмеры площадей с помощью палеток.

Методы выявления и оценки ореолов рассеяния минералов в рыхлых отложениях

В рыхлых отложениях различного генезиса обнаруживаются ореолы рассеяния отдельных минералов или их ассоциаций, входящих в состав полезного ископаемого. Они встречаются в виде включений в крупных глыбах, валунах и в более мелких обломках горных пород или в виде мелкой песчаной фракции рыхлых отложений. В зависимости от размеров выявляемых минералов или их агрегатов, а также от генезиса рыхлых отложений применяются различные минералогические методы поисков.

Валунно-ледниковый метод применяется в районах развития ледниковых отложений. Он состоит в проведении маршрутов вкрест предполагаемого движения ледника. При этом непосредственно на поверхности земли или в толще ледниковых отложений изучают валуны, а также мелкую фракцию морены, которая может содержать зерна минералов полезных ископаемых. Мелкую фракцию тяжелых минералов выявляют путем промывки проб моренных отложений. Для поисков ледниковых валунов с признаками полезных ископаемых и лежащих на поверхности земли используют служебных собак. Для обнаружения таких валунов в толще морены проходят горные выработки (канавы, траншеи). В Канаде, например, где этот метод получил название «гляциофокусного», при поисках проходились через 600 м траншеи глубиной до 4 м, стенки которых опробовались вертикальными бороздами. Пробы статистически изучались. Опытные работы по использованию служебных собак в Финляндии [151] показали, что эффективность таких поисков значительно выше, чем поисков, выполняемых геологами. На полигоне площадью 3 км^2 собака нашла 1330 рудных валунов, геолог — всего 270. В СССР также проводятся эксперименты по использованию при поисках служебных собак. Валунно-ледниковым методом были открыты многие месторождения в Швеции, Норвегии, Канаде и СССР.

Обломочно-речной метод является одним из наиболее древних методов поисков полезных ископаемых, сохранившим свое значение и до настоящего времени, особенно в горных районах. Метод основан на выявлении и оконтуривании обломков (глыб, валунов, галек) пород и минеральных агрегатов с признаками полезного ископаемого. Первый маршрут в горном районе проводят по долине, аллювиальные отложения которой представляют собой своеобразный петрографический и минералогический

«музей» бассейна реки. В этих отложениях можно обнаружить обломки преобладающего числа развитых здесь типов пород и полезных ископаемых. В дальнейшем маршруты направляют вдоль склонов, где предполагается выявление коренного источника обнаруженных обломков. В настоящее время применяются специализированные варианты этого метода: кварцеметрическая съемка для выявления кварцево-жильных месторождений (Г. Н. Вертушков) и флюоритометрическая съемка на основе нагревания размельченной пробы и получения термолюминесцентного эффекта (Я. Н. Федоренко).

Обломочно-речным методом поисков выявлено огромное число месторождений различных полезных ископаемых. В отдаленных районах, где имеются еще возможности обнаружения месторождений, выходящих на поверхности земли, и в настоящее время данный метод успешно применяется.

Ш л и х о в о й м е т о д применяется для выявления и оконтуривания ореолов и потоков рассеяния мелкой фракции минералов полезных ископаемых и их спутников в аллювиальных и склоновых отложениях. Шлиховое опробование ведется по определенной сети. На I стадии опробуется аллювий по сети, параметры которой зависят от масштаба геологической съемки и поисков — при масштабе 1 : 200 000 — через 2000—1000 м; 1 : 50 000 — через 500—250 м. На II стадии опробуются аллювиальные, делювиальные и элювиальные отложения по сети, соответствующей масштабу работ и размерам потоков рассеяния, выявленных на I стадии: 100 × 50 м, 50 × 25 м, 25 × 10 м и т. д. Ориентировка сети — профили, параллельные склонам. Отбор шлиховых проб производится из копушей (копушение склонов). Объем пробы 25—50 кг, но могут быть пробы до 100 кг для выявления алмазов, мелкого золота и касситерита, а также для перспективной оценки россыпей. При опробовании шурфов и копушей шлиховые пробы можно отбирать из выбросов (навала породы) методом крестообразной борозды. Для обработки шлиховых проб применяют промывку: в лотках различного типа, в бутарах, вашгердах, винтовых сепараторах, ящиках с грохотом. Анализ шлихов производят в полевых и стационарных шлиховых лабораториях. Количественное определение содержания полезных минералов и их спутников, выполняемое в полевых и стационарных лабораториях, производится одним из следующих способов: отдувкой с последующим взвешиванием; подсчетом зерен минералов под бинокуляром; массовыми реакциями или люминескопическим анализом. Для этой цели могут быть использованы новые приборы: «ГРАН-1» — оптический микросепаратор для полуавтоматического отбора и подсчета зерен минералов, «ШЕЕЛИТ» — ультрафиолетовый излучатель для визуального определения минералов шеелит-повеллитовой группы и др.

По данным шлихового опробования составляются шлиховые карты в различных вариантах оформления.

Методы выявления и оценки ореолов рассеяния минералов в коренных породах

В протолочно-шлиховом методе отбор проб производится по коренным породам для выявления и оценки ореолов развития акцессорных минералов тяжелой фракции. Масса проб — от 2—3 до 10—15 кг. Обработка проб предусматривает их дробление до 1—2 мм, промывку, получение шлиха, минералогический анализ шлиха.

Метод минералогического картирования [134] предусматривает составление минералогических карт, на которых отображаются парагенетические минеральные ассоциации отдельных стадий минералообразования. Особое значение для поисков скрытых месторождений имеет минералогическое картирование продуктивных минеральных ассоциаций, сопровождающих главные полезные компоненты. Например, в пределах рудного поля могут картироваться безрудные кварцевые ассоциации и продуктивные турмалин-кварцевые ассоциации с золотом.

ВЫВОДЫ

Минералогические методы являются наиболее надежными и прямыми методами поисков и обнаружения полезных ископаемых.

Геолог должен хорошо знать минералы, постоянно тренироваться в их определении (диагностика) путем изучения коллекций в экспедициях, партиях, музеях. Перед направлением минералов для изучения в лабораторию геолог должен предварительно определить их. Геологу необходимо также знать современные методы минералогических исследований [46].

Геохимические методы поисков

Геохимические методы применяются для изучения геохимических полей и выявления, оконтуривания и оценки геохимических аномалий, создаваемых полезными ископаемыми в литосфере, гидросфере, биосфере и атмосфере.

Общими принципами геохимических методов являются массовое опробование, ускоренный анализ проб, наглядное изображение результатов. Основные операции геохимического опробования включает отбор проб, обработку (подготовку) проб, анализ проб, математическую обработку результатов анализов и их графическое оформление.

По условиям локализации объектов опробования геохимические методы подразделяются на четыре группы: литогеохимические, гидрогеохимические, биогеохимические и атмогеохимические. При рассмотрении этих методов для каждого из них описана методика отбора и обработки проб. Методика наиболее

распространенных анализов геохимических проб, математической обработки результатов анализов и графического оформления изложена для первого — литогеохимического метода; для остальных методов отмечены лишь особенности этих операций.

Литогеохимический метод применяется для поисков месторождений тех полезных ископаемых, которые создают отчетливые геохимические аномалии в рыхлых отложениях или в коренных породах. Методика литогеохимического опробования на I стадии поисковых работ имеет свои особенности в зависимости от типа района по тектоническому положению, геологическому разрезу, степени обнаженности.

В складчатых областях геохимическое опробование может выполняться в районах хорошо обнаженных, слабо обнаженных и в закрытых. В хорошо обнаженных районах геохимические поля могут быть нормальными неоднородными или аномальными (рис. 56, *а*). Литогеохимическое опробование ведется по коренным породам на поверхности земли или по глыбовому материалу элювиальных отложений. Отбор проб производится пунктирной бороздой с помощью молотка и зубила по каждой разновидности пород в пределах небольших площадок (1 × 1 м). Масса пробы — 150—200 г. В слабо обнаженных районах, где мощность рыхлых отложений колеблется от 0,2 до 10,0 м, литогеохимические пробы отбираются из представительного горизонта, удовлетворяющего требованиям надежности (точные данные о том, что опробуется ореол) и экономичности (минимальная глубина опробования). Обычно таким горизонтом является элювиальный или нижняя часть иллювиального горизонта рыхлых отложений (рис. 56, *б*). При небольшой мощности рыхлого покрова пробы отбираются молотком, кайлой, лопатой и ложкой. На участках с повышенной мощностью рыхлых отложений могут применяться мотобуры М-1, работающие на бензиновом моторе и позволяющие отбирать пробы шнеком с глубины до 2 м, колонковым снарядом до 7—10 м. Масса геохимических проб из рыхлых отложений 50 г, для определения золота — до 200—300 г.

В закрытых районах, где мощность рыхлых отложений может быть в интервалах 10—25 м и более, для геохимического опробования применяется бурение специальных скважин или используются скважины, пробуренные для других целей. Геохимическая проба отбирается из нижней части рыхлых отложений, в пределах которой локализуются геохимические ореолы, связанные с разрушением коренных пород, вмещающих тела полезных ископаемых (рис. 56, *в*). Кроме того, литогеохимическая проба отбирается и по коренным породам с интервала 1—5 м. Проба из рыхлых и коренных пород берется по керну или по шламу. Масса проб 100—150 г. Опробование по поверхности земли в таких районах проводить не рекомендуется потому, что рыхлые отложения в верхней части характеризуются нормальным однородным геохимическим полем или аномальным, но ложным, связанным

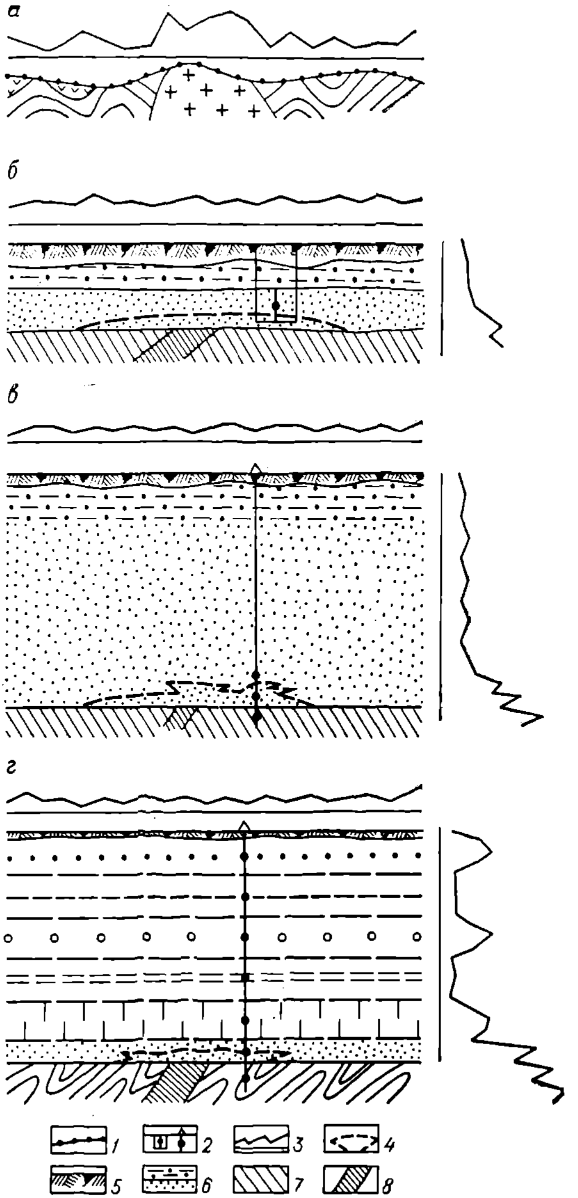


Рис. 56. Схемы литогеохимического опробования в различных условиях.

Складчатые районы: *а* — хорошо обнаженные; *б* — слабо обнаженные, с покровом рыхлых отложений мощностью до 2,0 м; *в* — закрытые, с покровом рыхлых отложений мощностью свыше 10 м; *г* — плиты.

1 — пункты отбора проб; *2* — копуши и скважины; *3* — графики геохимического поля; *4* — геохимические ореолы; *5* — почвенный слой; *6* — рыхлые отложения; *7* — коренные породы; *8* — рудные тела

с перемещением химических элементов в водных потоках и поверхностных рыхлых отложениях.

На плитах поверхность земли характеризуется обычно нормальным однородным геохимическим полем. Неоднородности поля проявляются в разрезе платформенного чехла, который может содержать горизонты, обогащенные различными полезными компонентами (рис. 56, *г*). Наиболее значительные геохимические аномалии наблюдаются в основании чехла и в верхней части фундамента. В связи с этим литогеохимическое опробование ведется по керну и по шламу картировочных, структурных и поисковых скважин.

На II стадии (детальные поиски и поисково-оценочные работы) литогеохимическое опробование, кроме указанных способов, ведется по горным выработкам — канавам, траншеям, шурфам и по буровым скважинам (керн).

Параметры сети литогеохимического опробования на I и II стадиях в складчатых обнаженных и слабообнаженных районах выбираются на основе данных «Инструкции по геохимическим методам...» [74], приведенных ниже.

Масштаб	Расстояние между профилями, м	Расстояние между точками отбора проб, м
1:200 000	2000	100
1:100 000	1000	00—50
1:50 000	500	50
1:25 000	250	50—25
1:10 000	100	20—25
1:5000	50	20—10
1:2000	25—20	10

Расчет параметров сети глубинного литогеохимического опробования в закрытых районах и на плитах следует производить методом разрежения инструктивной сети или математическими методами, ориентируясь на размеры ожидаемых геохимических аномалий. При таком расчете должны учитываться вероятность обнаружения аномалии определенной формы и размеров, а также экономический фактор, т. е. стоимость работ (в основном стоимость проходки специальных скважин). Например, ожидаемая аномалия имеет размеры 1200 × 250 м. Выбор сети может быть проведен по данным И. Д. Савинского, приведенным в работе Г. В. Мирошниченко и С. А. Скороспелкина [110].

Параметры сети, м	Вероятность обнаружения объекта скважиной	Количество скважин на 1 км²
600×200	0,96	8
700×200	1,00	7
850×170	1,00	7
1000×150	0,99	6
1100×100	0,98	9
1200×60	0,97	1,4

Наиболее рациональной в данном случае может считаться сеть 1000 × 150 м, при которой вероятность обнаружения доста-

точно высокая (0,99), количество скважин минимальное (6 на 1 км^2), параметры сети меньше размеров ожидаемой аномалии.

Обработка литогеохимических проб для подготовки к анализу производится по схемам (рис. 57), различным для проб коренных пород и рыхлых отложений. Для первых производится обязательное измельчение на первой стадии обработки, для вторых — измельчение выполняется только на заключительной стадии подготовки пробы к анализу.

Анализ литогеохимических проб может осуществляться различными методами: спектральным, пламенно-фотометрическим, атомно-абсорбционным, колориметрическим (дитизоновым), микрохимическим, ядерно-физическим.

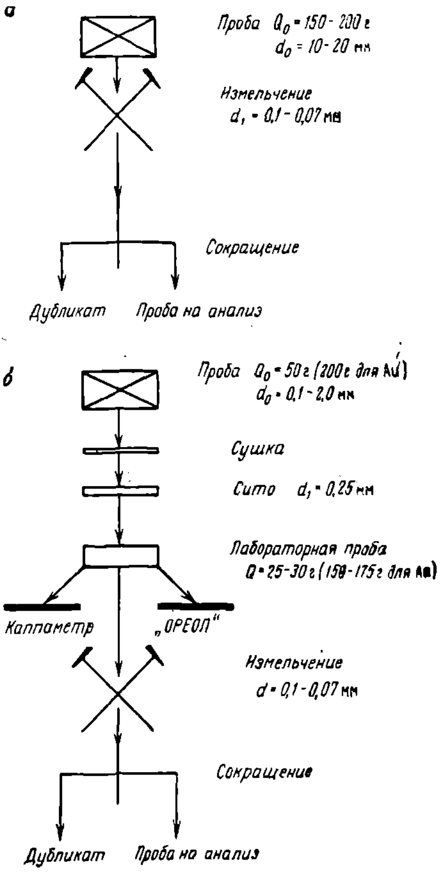


Рис. 57. Схемы обработки литогеохимических проб из коренных пород (*а*) и рыхлых отложений (*б*)

Спектральный анализ в Советском Союзе является главным методом. Наиболее распространенным вариантом этого метода считается приближенно-количественный спектральный анализ [175]. Для определения содержания некоторых элементов используются разновидности спектрального анализа с предварительным обогащением проб (золото), с применением специальных электродов (ртуть), с использованием соединений элемента (фтор) и др.

Пламенно - фотометрический метод анализа применяется для определения содержаний щелочных элементов (калий, рубидий, цезий, литий).

Атомно-абсорбционные методы анализа литогеохимических проб, основанные на применении атомно-абсорбционных спектрофотометров, начинают все шире использоваться. Для определения ртути применяются разработанные в СССР ртутный атомно-абсорбционный спектрофотометр (РАФ) и портативный атомно-абсорбционный анализатор ртути (АРП-1).

Среди колориметрических методов анализа литогеохимических проб в некоторых геологических организациях на основе опыта американских исследователей используется дитизоновый метод [47]. Могут применяться и микрохимические методы анализа (плюмбометрический, станнометрический и др.). Начинают использоваться ядернофизические методы анализа (рентгенорадиометрический, нейтронно-активационный).

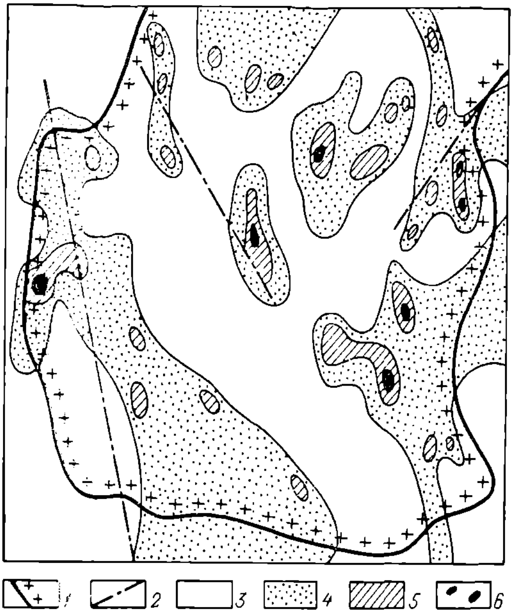


Рис. 58. Литогеохимическая карта площади интрузива.

1 — контур гранитного интрузива; 2 — разрывные нарушения; геохимическое поле вольфрама; 3 — фон, 4 — выше фона, 5 — выше аномального содержания, 6 — максимальные содержания

Математическая обработка результатов анализа литогеохимических проб основана на выборе статистических группировок (выборок) и вычислении определенных показателей: фоновых и аномальных содержаний, кларков концентраций, коэффициентов корреляции, коэффициентов вариации, дисперсии и др. Они могут определяться графическим методом на планшете Н. Н. Разумовского или аналитическим методом по специальным формулам. Для определения этих показателей разработаны также программы расчета на ЭВМ, которые начинают широко использоваться в геологических управлениях и других геологических организациях.

Графическое оформление результатов литогеохимического опробования производится на геохимических картах, разрезах, колонках, графиках. Общим принципом составления таких документов должно быть отражение геохимических полей полного распределения содержаний химических элементов в изолиниях,

на фоне которых оконтуриваются геохимические ореолы и аномалии различной интенсивности (рис. 58). Данный принцип изображения геохимических данных по сравнению с обычно применяемым способом оконтуривания только геохимических аномалий (начиная с аномального содержания) имеет преимущества в поисковом отношении, особенно при выявлении скрытого оруденения.

Гидрогеохимический метод поисков применяется для выявления и оконтуривания геохимических аномалий в водах — поверхностных и подземных. Опробуются поверхностные воды рек, ручьев, болот, озер и подземные воды в источниках, колодцах, шурфах, скважинах. В районах со слабо развитой гидросетью иногда опробуются талые воды, березовый сок. Сеть гидрогеохимического опробования определяется сложностью геологического строения. Например, для III категории сложности на 1 км^2 рекомендуется отбирать следующее число проб [51]: при масштабе 1 : 200 000 — 0,25; 1 : 50 000 — 2; 1 : 25 000 — 4; 1 : 10 000 и крупнее — опробованию подвергаются все водопроявления. Объем пробы 0,5—1 л. Гидрогеохимические пробы отбираются в полиэтиленовую посуду. Из скважин отбор проб производится специальными пробоотборниками.

Обработка гидрогеохимических проб заключается в концентрировании химических элементов путем выпаривания проб с осаждением реагентами, применением активированного угля или ионно-обменных смол. В настоящее время получает распространение концентрирование водных проб по методу ТПИ (Томского политехнического института) с помощью $Al(OH)_3$.

Анализ гидрогеохимических проб выполняется в полевых и лабораторных условиях. В поле для этой цели применяют полевые гидрогеохимические лаборатории типа ПЛАВ и МЛАВ для общего анализа воды; ГХЛ-1,2 для определения суммы металлов. Выпущены полевые лаборатории «Комар-2», «Родник» и др. В лабораторных условиях в гидрогеохимических пробах определяют полный состав (химический анализ) и количество микрокомпонентов в сухом остатке (спектральный анализ и др.).

Графическое оформление результатов гидрогеохимического опробования заключается в составлении гидрогеохимической карты, которая должна отражать солевой состав вод и микрокомпонентный состав. Способы изображения этих параметров различны — в виде кружковых диаграмм, ореолов, изолиний.

Использование гидрогеохимического метода поисков позволило выявить ряд крупных месторождений — Гайское медноколчеданное, Соликамское калийных солей и др. Особое значение гидрогеохимический метод приобретает при поисках скрытых месторождений [50].

Биогеохимический метод поисков применяется для изучения и оконтуривания геохимических полей в растительном покрове и выявлении аномалий, связанных

с полезными ископаемыми. Объектами биогеохимического опробования могут являться травяная, древесная растительность и торф. В пробу могут отбираться пучки травы, кора, ветви, листья с помощью садовых ножниц, сучкорезов. При отборе проб необходимо учитывать время года (наиболее благоприятна осень), характер растений и др. Обработка проб предусматривает очищение растений от пыли, их сушку, измельчение и сжигание в муфельной печи. Упрощенный способ обработки проб состоит в сжигании растений в полевой печи, имеющей каналы для перфорированных цилиндров. Анализ биогеохимических проб производится по их золе спектральным методом.

Биогеохимический метод поисков имеет ряд существенных недостатков, которые ограничивают его применение: сложность пробоотбора и зависимость от времени года, типа растений. Некоторыми исследователями для сопоставления содержаний одних и тех же элементов в разных видах растений предлагается введение различных коэффициентов, что, конечно, не может избавить этот метод от недостатков. Например, А. П. Самойлова [161] считает, что данные, получаемые при биогеохимическом опробовании, следует переводить в единые величины «березовые единицы», и т. д. Вторым существенным недостатком метода является сложность обработки проб и постоянная опасность заражения их почвой. Биогеохимический метод может в какой-то степени применяться только в особо сложных ландшафтных условиях, где отсутствуют обнажения пород и где мощность рыхлых отложений значительна: в пустынях, в тропических районах с мощной корой выветривания, на болотах (торфо-химический метод поисков).

Разновидностью биогеохимического метода является **геоботанический метод**, который всегда в том или ином виде используется геологами при проведении геологической съемки и поисков полезных ископаемых. Этот метод предусматривает картирование по растениям-индикаторам, ареалам развития определенных видов растений, произрастающих на площадях распространения некоторых горных пород, тектонических разрывных нарушений и пр. Применение геоботанического метода особенно эффективно на основе использования аэрофотоматериалов.

Атмогеохимический метод поисков применяется для изучения и оконтуривания геохимических полей в подпочвенном воздухе и приповерхностной атмосфере и для выявления геохимических аномалий, связанных с полезными ископаемыми.

Объектами атмогеохимического опробования могут служить подпочвенный воздух, содержащий газовые компоненты (углекислый газ, водород, метан, эманации радиоактивных веществ, пары элементов); вода (промывочные воды из скважин, подземные воды из горных выработок) содержащая газовые компоненты; горные породы, содержащие газовые компоненты.

Атмогеохимическому методу поисков в настоящее время начинает уделяться большое внимание [187, 100 и др.]. Используя эти работы, приведем сведения о методике атмогеохимического опробования.

Опробование подпочвенного воздуха выполняется в виде газовой съемки. Поверхностная газовая съемка ведется путем отбора проб воздуха из неглубоких (1—1,5 м) скважин, которые бурятся мотобуром М-1 малым диаметром (62—64 мм). Пробы отбирают газоотборником, включающим насос Шинца и соединенным с газоанализатором. Газокерновую съемку проводят на участках с сильно увлажненными рыхлыми отложениями. Пробы воды для анализа газовых компонентов отбирают в плоские медицинские грелки (емкость 2—2,5 л), снабженные патрубками. Газовую съемку можно выполнять на какой-либо площади или по отдельным пересечениям. Таким же способом можно отбирать пробы горных пород для определения в них газовых компонентов.

Обработка атмогеохимических проб заключается в извлечении газов, содержащихся в рыхлых отложениях, породах, рудах, водах, в специальных термовакуумных дегазационных приборах (вакуум создается насосами ВН-46, РМ-20) без измельчения проб пород и руд и с предварительным измельчением пород и руд в шаровой вакуумной мельнице.

Анализ проб, содержащих более 0,5% отдельных газовых компонентов, производят в газоанализаторах, основанных на принципе воллюметрии газов (газоанализатор ВТИ-2). При меньших содержаниях газовых компонентов применяют методы хроматографии с низкотемпературной дистилляцией при помощи адсорбентов (приборы: газоанализаторы ХТХГ, ГСТЛ-3, «Геохимик», «Цвет» и др.).

Метод выявления аномалий паров элементов (в настоящее время для ртути) осуществляется с помощью атомно-абсорбционного прибора КазРАФ-6, смонтированного на автомашине УАЗ, с чувствительностью определения ртути $2-4 \times \times 10^{-9}$ мг/л. Методика отбора и анализа проб заключается в следующем [189]. Воздух откачивают через зонд, он проходит через фильтр, имеющий золотой струнный сорбент. Зонд вынимают и подключают к прибору, в котором сорбент подогревается до 500° С. При этой температуре ртуть десорбируется и насосом подает в фотометр, которым и выполняется измерение ее концентрации.

Второй метод выявления аномалий паров ртути — газоколориметрический [148], при котором откачиваемые насосом компоненты (пары ртути) поглощаются специальной пленкой, покрывающей стеклянную крупу (2—3 мм), которая находится в сосуде. Пленка содержит иодистый калий, который в дальнейшем растворяется в дистиллированной воде, а содержащуюся в этой пленке ртуть определяют колориметрическим методом.

Результаты атмогеохимического метода поисков оформляют в виде графиков содержаний газовых компонентов, нанесенных на геологические разрезы, колонки скважин. Могут быть составлены и карты.

ВЫВОДЫ

Геохимические методы представляют собой как прямые, так и косвенные методы поисков полезных ископаемых. Особое значение они приобретают для поисков скрытых месторождений.

Сопоставление отдельных разновидностей геохимических методов позволяет считать, что наиболее распространен в практике литогеохимический метод, в определенных условиях имеет значение гидрогеохимический метод, перспективен в развитии атмогеохимический метод. Биогеохимический метод не получил распространения в практике поисковых работ и потому может применяться лишь в особенно трудных ландшафтных условиях, где другие методы не могут быть использованы с достаточной эффективностью. Геоботанический метод как косвенный метод поисков широко используется при проведении геологической съемки и поисковых работах.

Геохимические методы поисков находятся в стадии бурного развития, что обусловливает наличие ряда нерешенных вопросов по методике отбора проб, методике их обработки и анализа. В перспективе анализ будет выполняться ядернофизическими методами без отбора проб, как это осуществляется при геохимических исследованиях Луны, или с применением лазерных установок, снабженных камерами для спектрального анализа.

Вопросы математической обработки результатов анализов геохимических проб в определенной степени разработаны. Менее значительны достижения в проблеме интерпретации геохимических аномалий.

Геофизические методы поисков

Геофизические методы применяются для изучения и оконтуривания геофизических полей и выделения геофизических аномалий, связанных с полезными ископаемыми. Наземные варианты этих методов, которые здесь рассматриваются, осуществляются путем проведения пешеходных профилей, и в меньшей степени путем использования автомобильных, вездеходных и тракторных профилей.

Геофизические методы поисков месторождений полезных ископаемых составляют предмет специальных курсов. Но геолог в современных условиях не только все больше соприкасается с результатами геофизических методов, но и участвует в работе комплексных геолого-геофизических экспедиций и партий. При этом основные геологические задачи перед геофизиками ставит геолог. В процессе составления проектов геологической съемки и поисков геолог совместно с геофизиком определяет необходимость поста-

новки геофизических работ и намечает комплекс методов. В связи с этим геолог-съемщик и поисковик должен быть знаком не только с общими принципами каждого из геофизических методов, но и с особенностями их применения в различных геологических условиях.

Геофизические методы можно классифицировать следующим образом:

— по возможностям обнаружения полезных ископаемых — прямые и косвенные методы;

— по характеру изучаемых геофизических полей и аномалий — магнитометрические, гравиметрические, сейсмометрические, электрометрические, радиометрические, ядернофизические, термометрические, биофизические.

Возможности прямого обнаружения полезных ископаемых наиболее важны для поисков, но и наиболее трудны для воплощения в приборах. Поэтому наряду с постоянным стремлением конструировать приборы для прямых поисков продолжается совершенствование и тех модификаций геофизических методов, которые позволяют более точно оконтуривать геологические структуры и образования, косвенно указывающие на возможное присутствие полезных ископаемых. Этой же цели служат экспериментальные исследования по применению известных геофизических методов в новых геологических условиях.

Рассмотрим некоторые особенности применения геофизических методов для поисков месторождений твердых полезных ископаемых.

Магнитометрический метод применяется не только как прямой метод для выявления месторождений полезных ископаемых с высокой магнитной восприимчивостью (магнетитовые руды, пирротиновые руды), но и как косвенный метод оконтуривания геологических образований, представляющих интерес для прогноза полезных ископаемых. Как косвенный метод магнитометрия используется, например, для выявления и оконтуривания ореолов измененных пород, вмещающих оруденение (медноколчеданное, меднопорфировое, свинцово-цинковое и др.). При этом учитывается, что в процессе гидротермальных изменений вмещающих пород происходит разложение магнитных минералов и замещение их минералами немагнитными. Магнитометрическая съемка позволяет проводить расчленение интрузивных комплексов, а иногда выделять среди них рудоносные комплексы (например, аляскитовые граниты с редкометальным оруденением). Большое значение магнитометрический метод имеет для прослеживания поясов даек и штоков среднего и основного состава, которые контролируют размещение многих типов постмагматических месторождений. Важным этот метод является и при прослеживании зон разрывных нарушений, в пределах которых могут размещаться месторождения различных полезных ископаемых эндогенного типа. Магнитная съемка повышенной точности применяется как

косвенный метод поисков аллювиальных россыпей золота, касситерита, вольфрамита, если эти тяжелые минералы сопровождаются в рыхлых отложениях концентрацией магнетита.

Наземная магнитометрическая съемка может выполняться практически в любых ландшафтно-географических условиях, так как применяемые магнитометры достаточно просты и удобны для перемещения.

Большие возможности как прямого, так и косвенного магнитометрического метода поисков полезных ископаемых, а также относительная простота и экономичность его выполнения позволяют считать, что магнитометрическая съемка должна почти всегда предусматриваться в проектах поисковых работ. Масштаб и методика выполнения этой съемки определяются с учетом ранее выполненных работ и решаемых поисковых задач.

Г р а в и м е т р и ч е с к и й м е т о д как прямой метод поисков используется для выявления положительных аномалий силы тяжести, с которыми могут быть связаны крупные залежи медноколчеданных, хромитовых руд, барита. Отрицательные аномалии силы тяжести в определенных геологических условиях связаны с соляными штоками. Как косвенный метод гравиметрия применяется для выявления и оконтуривания тектонических депрессий (грабенов), иногда продуктивных на уголь, бокситы, золото, гранитных интрузивов, продуктивных на олово, вольфрам, молибден, редкие элементы. Кроме того, этот метод позволяет выделять тектонические блоки, разделенные разломами, которые фиксируются гравитационными ступенями в поле силы тяжести.

При составлении проектов поисковых работ в районах, где развиты интрузивные тела, отмечается блоковое строение, а также ожидаются месторождения, создающие отчетливые гравиметрические аномалии, необходимо предусматривать гравиметрическую съемку соответствующего масштаба.

С е й с м о м е т р и ч е с к и й м е т о д применяется как косвенный метод поисков твердых полезных ископаемых, позволяющий расшифровывать структуры, вмещающие их месторождения. В некоторых районах Казахстана проведены сейсмометрические исследования рудных полей, в результате которых установлено положение плоскостей разломов, контролирующих размещение рудных месторождений.

Подобные же исследования проведены в районе Дальнегорского рудного поля. По данным Ю. П. Вострецова и А. Г. Натарова [36], здесь с помощью сейсмостанции АСМ-1 и СС-24п проводилось глубинное картирование кровли известняков триаса, в которых локализуются скрытые полиметаллические месторождения под экранирующими эффузивами верхнего мела. На рис. 59, *а* показан сейсмогеологический разрез, составленный по данным буровых работ и сейсмических исследований методом КМПВ с применением взрывного источника возбуждения. В пределах этого же рудного поля выполнены опытные работы с помощью портативной одно-

канальной сейсмической установки. Упругие колебания возбуждались в результате падения груза или ударом кувалды. Источник возбуждения колебаний не передвигался, а сейсмоприемник постепенно удалялся от него по профилю на расстояние до 130—150 м, реже до 200 м.

На установке заняты двое-трое рабочих и один техник, которые за один рабочий день могут произвести замеры в 10 точках наблюдений с разносами до 100—150 м. На основе произведенных

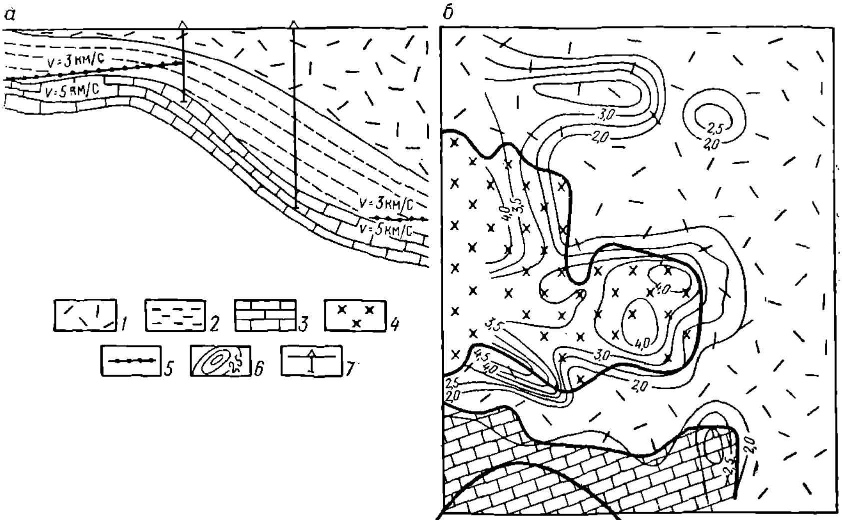


Рис. 59. Сейсмогеологический разрез рудного поля (*а*) и схематическая геологическая карта, совмещенная с картой скоростей распространения упругих волн пород одного из участков рудного поля (*б*). По Ю. П. Вострецову и А. Г. Натарову.

1 — вулканогенные отложения; *2* — алевролиты; *3* — известняки; *4* — диориты; *5* — преломляющие площадки; *6* — изолинии скоростей; *7* — скважины

наблюдений была построена карта скоростей распространения упругих волн в породах исследованного участка, которая хорошо отразила его геологическое строение (рис. 59, *б*). Особенно отчетливо на сейсмометрической карте отразился шток кварцевых диоритов, с которым предполагается парагенетическая связь полиметаллического оруденения.

Известны примеры опытных сейсмометрических исследований по определению форм и объемов небольших интрузивных тел, залегающих в благоприятных геологических условиях.

Одной из разновидностей сейсмометрического метода является с е й с м о э л е к т р и ч е с к и й, или п ь е з о э л е к т р и ч е с к и й м е т о д (ПЭМ), разработкой которого занимаются С. Н. Кондрашев [85] и др. По данным С. Н. Кондрашева, этот метод основан на получении электромагнитного поля в результате

поляризации (электризации пород и минералов под влиянием упругих волн, возбуждаемых взрывами, ударами и другими импульсными источниками). Пьезоэлектрический эффект возникает только в кристаллах, лишенных центра симметрии (кварц, турмалин, сфалерит, нефелин и др.). Методика исследований: взрыв (удар) и фиксирование пьезоэлектрического эффекта (станция 8СЭФ-2М-ВИТР); запись на осциллографе (на фотобумаге получается пьезоэлектросейсмограмма).

Метод может применяться для поисков и оценки кварцевых жил, с которыми связаны месторождения золота, пьезокварца; пегматитовых тел, содержащих слюду и другие полезные ископаемые. К сожалению, этот новый метод имеет определенные ограничения в применении, связанные с возникновением особых полей и аномалий при взрывах, которые мешают уверенной интерпретации геологических данных.

В проектах предварительных поисковых работ необходимо предусматривать использование данных обычных сейсмометрических исследований не только на платформах, но и в складчатых областях. При составлении проектов детальных поисков, выполняемых в пределах рудных районов и полей, необходимо предусматривать выполнение специальных сейсмометрических работ, если имеется уверенность, что они могут повысить эффективность поисков месторождений. В районах развития кварцевых и пегматитовых тел может использоваться и пьезоэлектрический метод поисков в комплексе с другими поисковыми методами.

Электрометрические методы широко используются для поисков различных видов полезных ископаемых. Как прямые методы поисков они применяются для выявления главным образом сульфидных месторождений, как косвенные — для прогноза многих других полезных ископаемых. Электрометрические методы имеют большое число модификаций в связи с возможностью использования широкого диапазона частот, а также различных источников тока — естественных и искусственных. В табл. 21 приведена классификация электрометрических методов по В. В. Федынскому [185].

Одним из наиболее эффективных электрометрических методов поисков сульфидных месторождений с вкрапленными рудами является метод ВП, основанный на изучении полей поляризации, т. е. разностей потенциалов, возникающих под влиянием длительных импульсов постоянного тока. Как отмечает В. А. Комаров [82], характерной особенностью метода ВП является большая стабильность величины кажущейся поляризуемости нормального поля, составляющей в разнообразных геологических условиях 1—2%. При широком распространении гидротермально-измененных пород, содержащих вкрапленники пирита и других электропроводящих минералов, нормальное поле характеризуется устойчивой величиной кажущейся поляризуемости в пределах до 4—5%. В связи с этим удается выявлять относительно слабые анома-

Таблица 21

Классификация электрометрических методов
(по В. В. Федынскому)

Электромагнитное поле и его частота f	Основные модификации (методы)	Второстепенные модификации (методы)
Естественные электромагнитные поля		
Постоянный ток; $f=0$	Естественного поля	—
Низкочастотное переменное поле, 10—100 Гц	Теллурических токов	Изучение индуктивных токов в рудных телах, вызванных удаленными грозами (АФМАГ)
	Магнито-теллурический	
Искусственные электромагнитные поля		
Постоянный ток; $f=0$	Электрическое профилирование	—
	Электрическое зондирование	—
	Заряженного тела	
	Вызванной поляризации	—
Низкочастотное переменное поле; 10—10 000 Гц	Низкочастотная индукция	Эквипотенциальных линий
	Аэроэлектроразведка	Петли
	Частичное зондирование	Интенсивности
	Становление электромагнитного поля	Сдвига фаз прямого кабеля
Переменное поле средних частот; 10—60 кГц	—	Отношения потенциалов
		Индукции
Высокочастотное поле, 0,1—10 мГц	Радиопросвечивание	Радиоволновые
		Радиокип
		Радиолокационные

лии, которые могут быть обусловлены глубокозалегающими объектами (рис. 60).

По данным П. Ф. Родионова, Р. В. Улитина и А. И. Человечкова [153], в Институте геофизики УФАН проведены исследования по применению метода ВП на переменном токе. Результаты изучения ряда рудных месторождений показывают, что эта разновидность метода ВП позволяет выявлять рудные зоны с колчеданным оруденением, залегающие на глубине 110—120 м, если над ними отсутствуют поляризующие породы. Кроме того, выявлена возможность применения метода ВП на переменном токе для поисков оловорудных месторождений всех генетических типов, в том числе и кварц-касситеритовой формации.

Важной для поисков месторождений сплошных сульфидных руд модификацией низкочастотных электрометрических методов является метод переходных процессов (МПП), основанный на изучении индуктивно возбуждаемого неустановившегося поля (Ю. В. Якубовский, Ф. М. Каменецкий).

Пример проверки метода МПП на ряде колчеданных месторождений Южного Урала (рис. 61) приведен в работе Ф. М. Каменецкого и В. Ф. Коваленко [79].

Высокочастотные электрометрические методы (радиокип, радиоволновое просвечивание) также получают в последнее время развитие. По данным А. Г. Тархова и др. [41], работы методом

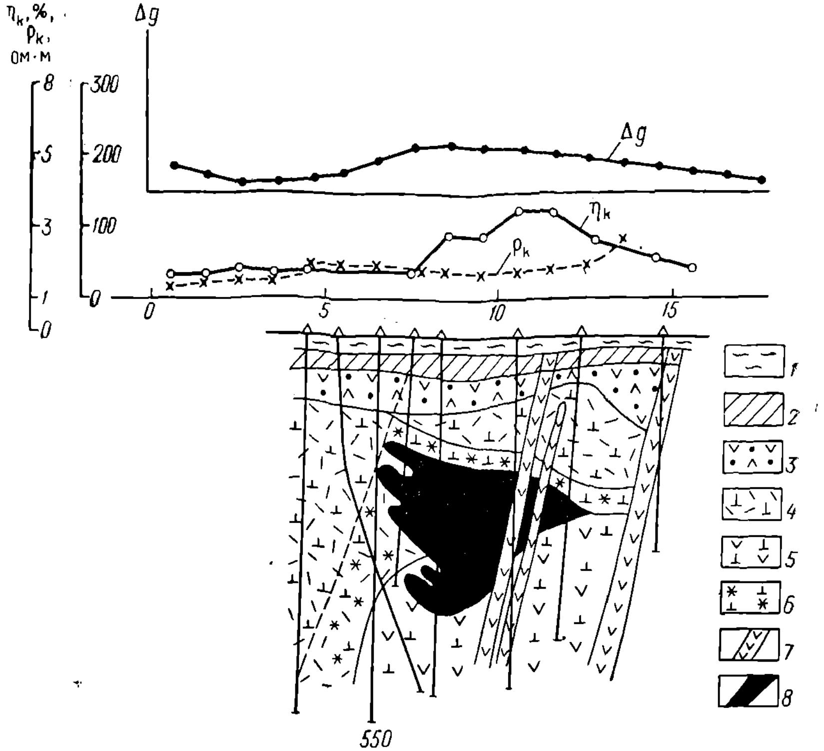


Рис. 60. Аномалия ВП (η_k) над медноколчеданным месторождением (по О. М. Шаповалову).

1 — рыхлые отложения; 2 — кора выветривания; 3 — туфы; 4 — альбитофиры; 5 — туфобрекчии; 6 — туфобрекчии с густой вкрапленностью сульфидов; 7 — габбро-диабазы; 8 — рудное тело

радиокип осуществляются с помощью полевой сверхдлинноволновой аппаратуры и длинноволнового приемника ПИНП-2. Результаты исследований показывают, что измерения магнитного поля сверхдлинных волн (10—30 кГц) могут использоваться с целью поисков проводящих сульфидных рудных зон, залегающих на глубине до 50—100 м. Измерение электрического поля сверхдлинных волн позволяет обнаруживать на глубинах до 10—15 м и прослеживать высокоомные золото-кварцевые жилы и дайки, а также определять мощность рыхлых отложений при однородном сопротивлении коренных пород. Авторы приводят пример съемки

методом радиокип по сети 50 × 10 м с разносом приемных электродов 10 м участка золото-кварцевого месторождения (рис. 62, *а*). При этом производилась съемка горизонтального электрического поля при помощи сверхдлинноволновой радиостанции, работавшей на частоте 25 кГц.

Как отмечают А. Г. Тархов и др. [41], метод радиокип начинает применяться при поисках кимберлитовых трубок, залегающих под покровными отложениями. При этом иногда удается производить разбраковку многочисленных аномалий электромагнитного поля, которые могут быть вызваны не только кимберлитами, но и интрузивами магнитных пород (рис. 62, *б*). Аномалии электромагнитного поля, выявленные с помощью СДВ-станции, наблюдаются над проводящей кимберлитовой трубкой и не отмечены над штоком долеритов, обладающих повышенной магнитной проницаемостью, но не отличающихся по удельному сопротивлению от вмещающих пород.

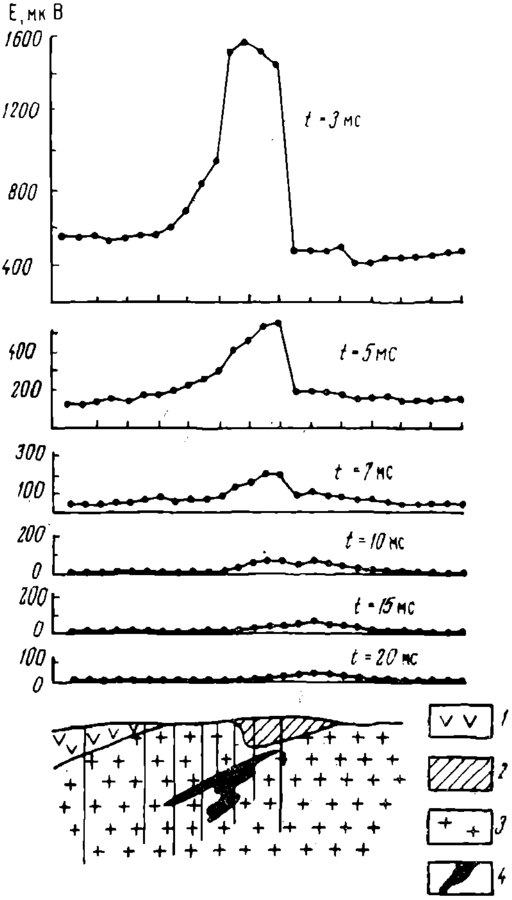
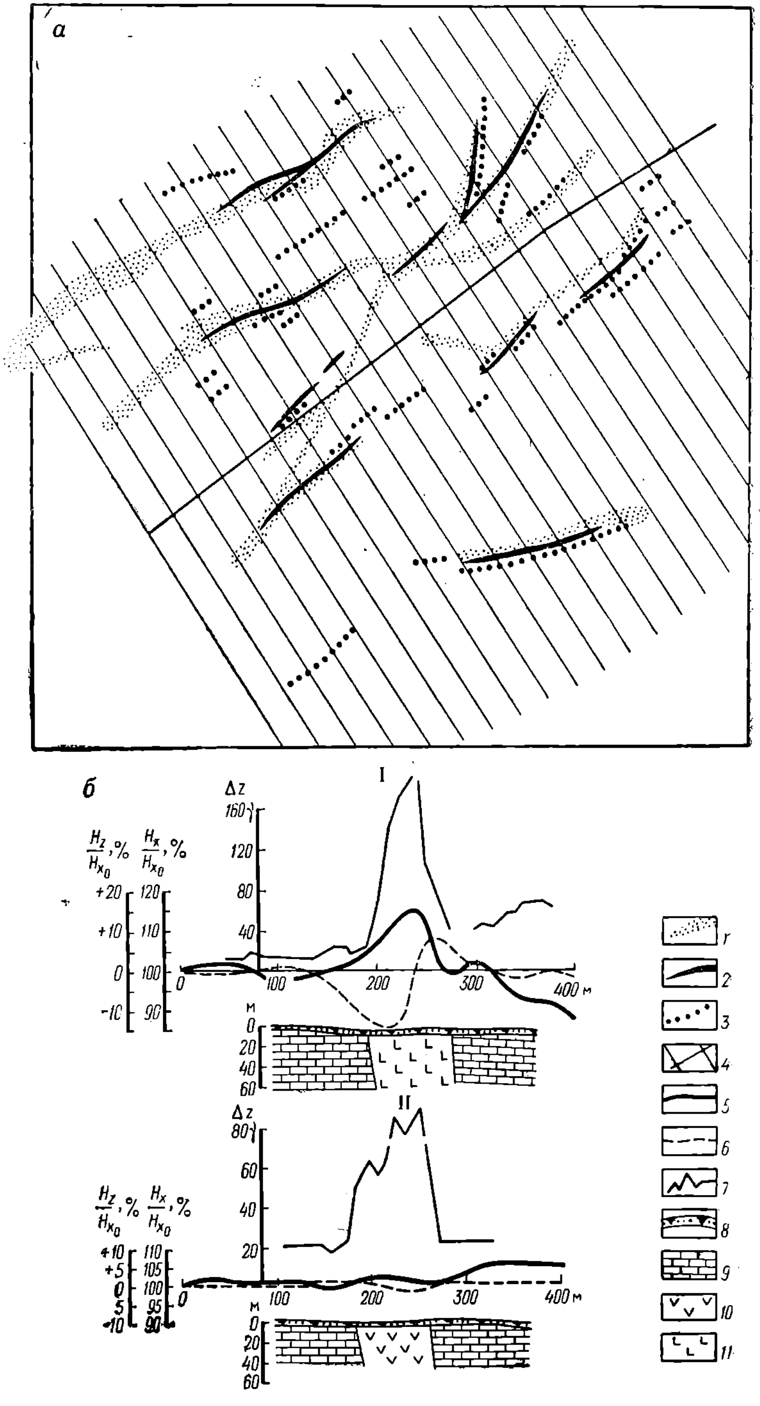


Рис. 61. Результаты съемки по методу МПП на одном из медноколчеданных месторождений (по Ф. М. Каменецкому и В. Ф. Коваленко).

1 — спилиты; *2* — измененные кератофиры; *3* — кератофиры; *4* — рудные тела

В проекты поисковых работ электрометрические методы включают в зависимости от конкретных геологических условий, с учетом характера возможных аномалий, которые могут создавать ожидаемые объекты поисков.

Радиометрические методы основаны на измерении естественной радиоактивности горных пород и минералов. Они применяются как прямые методы поисков месторождений радиоактивных элементов и как косвенные методы поисков месторождений нерадиоактивных элементов.


а
б
I
II
Δz
160γ
120
80
40
80γ
60
40
20
$\frac{H_z}{H_{x_0}}$,%
$\frac{H_x}{H_{x_0}}$,%
+20
+10
0
-10
120
110
100
90
+10
+5
0
5
-10
110
105
100
95
90
0
100
200
300
400 м
м
0
20
40
60
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

Радиометрическая съемка с обычными радиометрами проводится одновременно с геологосъемочными и поисковыми маршрутами в процессе выполнения региональной геологической съемки. При проведении детальных поисковых работ с целью поисков месторождений радиоактивных руд кроме пешеходных маршрутов применяется шпуровая гамма-съемка, плужная гамма-съемка и автогамма-съемка. В закрытых районах осуществляется радиометрическая съемка по картировочным и поисковым скважинам.

Глубинность радиометрической съемки весьма незначительна (от нескольких сантиметров до нескольких метров).

Радиометрические методы могут использоваться как косвенные методы поисков таких полезных ископаемых, как редкие и рассеянные элементы, вольфрам, олово, молибден, бериллий, литий, а также фосфоритов, калийных солей.

В проектах поисковых работ радиометрические методы предусматриваются на всех стадиях их выполнения.

Ядернофизические методы основаны на возбуждении радиоактивности с помощью искусственных источников. Эти методы начали применяться для ускоренного анализа химических элементов в различных пробах. В перспективе они будут использоваться для поисков месторождений различных полезных ископаемых в вариантах перемещения приборов по профилям или маршрутам с получением графиков содержаний отдельных элементов в исследуемых горных породах и проявлениях полезных ископаемых. Прообразом таких установок является, например, Рифма, применявшаяся на луноходах для изучения поверхности Луны. Краткое описание ядернофизических методов приведено по данным А. Л. Якубовича [198] и др.

По условиям применения ядернофизические методы подразделяются на две группы.

1. Стационарные методы, использующие крупногабаритные приборы и аппараты. К ним относятся реакторный нейтронный активационный анализ, отличающийся большой чувствительностью по сравнению с другими методами анализа.

2. Полевые методы, использующие компактную аппаратуру. В этой группе выделяются следующие разновидности методов.

Рентгено-радиометрические методы основаны на возбуждении атомов анализируемых элементов с помощью первичного излучения

Рис. 62. Результаты съемки площади кварцево-золоторудного месторождения методом радиокип на частоте 25 кГц (*а*) и магнитометрических работ и съемки поля методом сверхдлинных волн (СДВ) на частоте 22 кГц (*б*) над кимберлитовой трубкой (*I*) и штоком долеритов (*II*). По А. Г. Тархову и др.

а — *1* — зоны измененных кварц-серицитовых пород; *2* — кварц-карбонатные жилы; *3* — оси максимумов электрического поля; *4* — сеть наблюдений; *б* — *5* — график горизонтальной составляющей магнитного поля СДВ (H_x); *6* — график вертикальной составляющей H_z; *7* — график ΔZ магнитометрии; *8* — рыхлые отложения; *9* — карбонатные породы; *10* — долериты; *11* — кимберлиты

от радиоизотопного источника и последующем анализе спектрального состава и измерения интенсивности характеристического излучения возбужденных атомов с помощью специальной радиометрической аппаратуры. Источниками возбуждения могут служить следующие изотопы: кобальт-60, сурьма-124, цезий-133; ртуть-203, тулий-170 и др.

К разработанным на этом принципе приборам, которые прошли испытания в различных полевых условиях, относятся «Минерал-3» (для анализа широкого круга элементов — от железа до висмута), «Минерал-4», «БРА-6», «Гагара», «Феррит» (для анализа железа и элементов группы железа), «Маяк», «Квант».

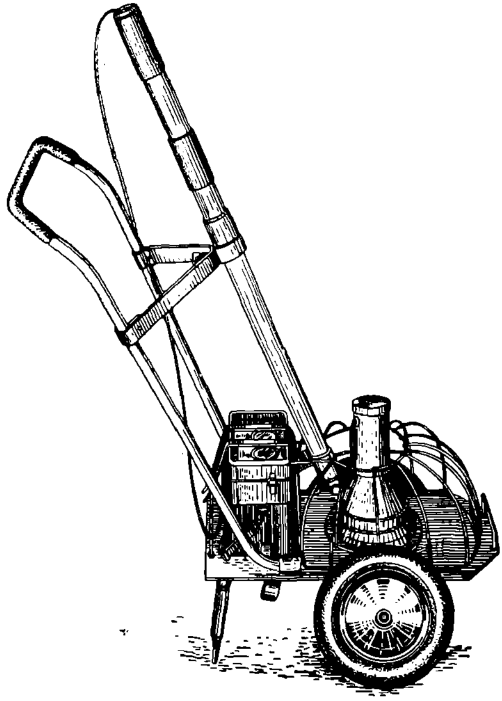


Рис. 63. Бериллометр фотонейтронный полевой портативный — «Берилл-3» (конструкции ОКБ МГ СССР и ВИРГ)

Другой разновидностью полевых методов, основанных на рассеянии или поглощении различных видов излучений (гамма, бета, нейтронного), являются следующие: нейтронно - активационный, фотонейтронный, нейтронно-абсорбционный и др.

Нейтронно-активационный метод с применением ампулированных источников нейтронов использован в приборе «Нейтрон-2» для определения содержания кремния и алюминия в бокситоносных породах. Для ускоренной оценки содержания алюминия в породах и рудах начал применяться прибор «Боксит», основанный на использовании альфа-активационного метода. Фотонейтронный метод анализа используется с помощью прибора «Бериллометр» для определения содержания бериллия (рис. 63). В качестве источника возбуждения в этом приборе применяется изотоп сурьмы-124, который создает поток гамма-квантов с энергиями более 1,66 МэВ, выбивающий из ядер бериллия поток нейтронов, интенсивность которого пропорциональна содержанию бериллия в пробе.

На принципе нейтронно-абсорбционного действия создан прибор для определения содержания бора, ядра которого сильно поглощают тепловые нейтроны. По данным Г. В. Остроумова [129],

такой прибор был установлен на автомашине, что позволило в короткие сроки оценить большие площади и рудопроявления в отношении их бороносности.

Как отмечает А. Л. Якубович [198], высокой избирательностью отличается метод, основанный на резонансном поглощении или рассеивании гамма-квантов ядрами анализируемых элементов (эффект Мессбауэра). Олово (касситерит) можно определять этим

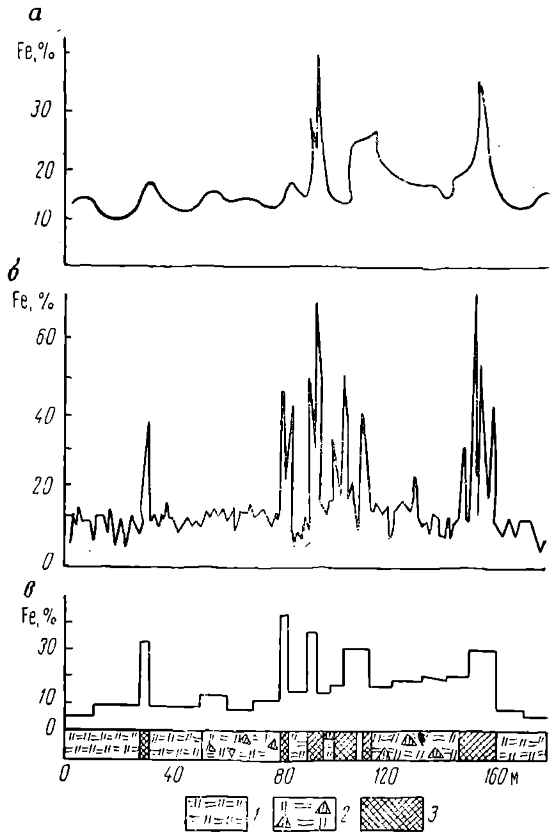


Рис. 64. Сопоставление результатов автомобильной (*а*) и пешеходной (*б*) рентгенофлуоресцентной съемок с данными геологического опробования (*в*) (по Г. А. Пшеничному и др.).

1 — почва; *2* — делювий; *3* — железистый кварцит

методом, начиная с содержания 0,05% с помощью прибора МАК-1, созданного СНИИП и выпускаемого серийно промышленностью.

Наибольшее применение в полевых условиях получают приборы, основанные на рентгено-радиометрических методах определения содержания химических элементов. Известны примеры использования автомобильной рентгено-флуоресцентной съемки с непрерывным определением рудных компонентов. По данным Г. А. Пшеничного и др. [1], автомобильная рентгено-флуоресцентная съемка может заменить в будущем литогеохимическую съемку на все элементы. Но пока приборы могут фиксировать

содержания тех элементов, которые характеризуются высокими содержаниями в породах и рудах (железо, марганец, титан, цирконий и др.).

Установка для автомобильной рентгено-флуоресцентной съемки смонтирована на базе автомашины ГАЗ-69. Она состоит из датчика, подвешенного на заднем мосту автомашины, четырехканального спектрометра ВГС-3 и четырехканального самописца, скорость движения ленты которого синхронно связана со скоростью движения автомашины. Результаты испытания автомобильной рентгенофлуоресцентной установки на железорудных месторождениях Кривого Рога приведены на рис. 64. Все аномалии, отмеченные при автомобильной съемке, подтвердились данными пешеходной съемки и химического опробования. При скорости движения автомашины 20 км/ч происходит некоторое искажение графиков содержаний, при скорости 3 км/ч данные рентгенофлуоресцентной съемки соответствуют данным химического опробования. Г. А. Пшеничный и др. считают, что особенно целесообразно применение автомобильной рентгено-флуоресцентной съемки при поисках месторождений высококларковых элементов (титан, хром, марганец, железо, медь, цинк, барий, свинец).

В целом ядернофизические методы выходят из стадии эксперимента и постепенно будут заменять некоторые способы геохимического опробования. Основное их преимущество заключается в возможности определения содержаний химических элементов непосредственно в полевых условиях, а в некоторых вариантах и без отбора проб.

Горно-буровые методы поисков

Горно-буровые методы являются единственным средством проверки результатов, полученных другими поисковыми методами, а также собственно методами поисков месторождений тех полезных ископаемых, которые трудно выявить всеми другими способами. Горно-буровые методы осуществляются проходкой горных выработок и бурением скважин.

Характерными условиями осуществления горно-буровых работ на стадиях поисков являются значительные по сравнению с разведкой расстояния между поисковыми пересечениями, небольшая глубина поисковых пересечений, кроме специальных глубоких скважин, отсутствие хороших дорог и централизованных источников энергии на площадях ведения поисковых работ. Эти условия определяют тип горных выработок и скважин, а также применяемые механизмы для их проходки.

Г о р н ы е в ы р а б о т к и поискового и поисково-оценочного назначения в основном поверхностные, неглубокие: копуши, шурфы, дудки, расчистки, канавы, траншеи. Значительно реже применяются штольни. Проходка поверхностных горных выработок осуществляется вручную, механизированным способом или сочетанием того и другого. Однако возрастание объемов поиско-

вых работ и недостаток рабочей силы требуют перехода на механизированные способы проходки. В организациях МГ СССР ежегодно проходится 1,2—1,3 млн. пог. м шурфов и до 12—13 млн. м³ канав и траншей; большая часть этих объемов приходится на поисковые стадии.

Копуши — широко используемые выработки при шлиховом и геохимическом опробовании склоновых рыхлых отложений. Проходка их ведется вручную, глубина копуши — 1—2 штыка лопаты или кайлы, объем получаемой породы 1—2 лотка для промывки шлиховой пробы. Копуши располагают вдоль склона с тем, чтобы пересекать ореолы рассеяния.

Шурфы проходят вручную или механизированным способом. Основные направления в развитии средств механизации шурфовочных работ заключаются в применении разборных переносных комплексов механизмов с индивидуальными источниками энергии для проходки шурфов глубиной до 15 м по породам до V категории; самоходных комплексов с индивидуальными источниками энергии для проходки одиночных шурфов глубиной до 30 м. Для подъема породы рекомендуется применение шурфопроходческих кранов (КШ-К и др.).

Канавы и траншеи проходят следующими способами: вручную, вручную с предварительным рыхлением породы зарядами ВВ, взрывом на выброс, селевыми потоками, с использованием землеройной техники (бульдозеров, экскаваторов, канавокопателей, скреперов). Применяются бульдозеры Д-494, Д-271, Д-159-Б и другие на базе тракторов ДТ-75, С-100; экскаваторы Э-302, Э-303, Э-153А; канавокопатели многоковшовые ЭТУ-254, КМ-1400; плужные прицепные устройства. Для сложных ландшафтных условий разрабатываются специальные канавокопатели типа КРС-2, скреперные установки типа МСУ-01.

Б у р е н и е поисковых и поисково-разведочных скважин осуществляется специальными станками: до глубины 25—30 м — станками УПБ-25, СУГП-10, СВА-2, УБР-2 и др.; до глубины 100 м — станками БСК-2М-100; до глубины 300 м — станками ЗИФ-300 и др.

В последнее время некоторые станки, указанные выше, модернизированы и выпускаются в новых вариантах: например, вместо станка УПБ-25 начался выпуск станка УКБ-12/25 (рис. 65) и самоходной установки УКБ-12/25С (рис. 66), предназначенных для бурения скважин глубиной до 15 м шнеками и до 25 м алмазными и твердосплавными коронками. Новой является самоходная поисковая установка СПУ-100 (рис. 67), предназначенная для бурения (алмазного и твердосплавного) скважин глубиной до 100 м без отбора керна в рыхлых отложениях и с отбором керна в коренных породах.

Представляет интерес опыт бурения скважин станком УПБ-25 при геологической съемке и поисках в Приуралье [188]. В районе мощность четвертичных отложений от 3 до 20 м. Дороги

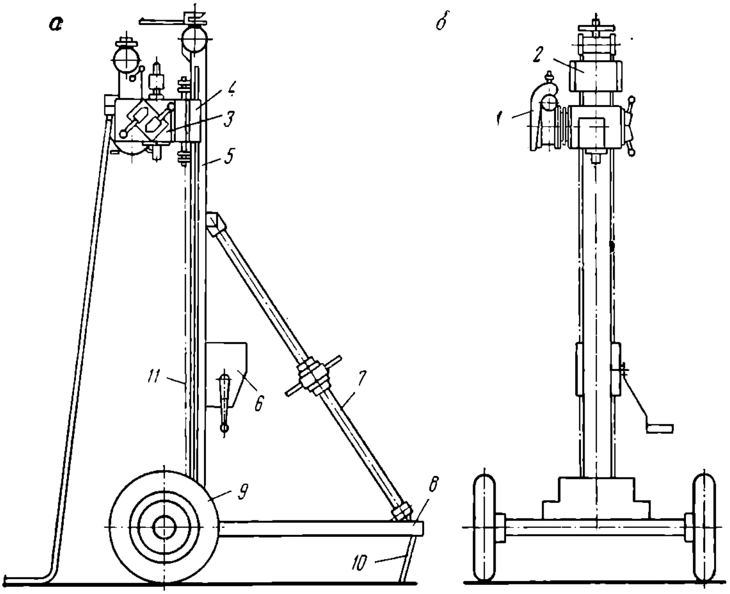
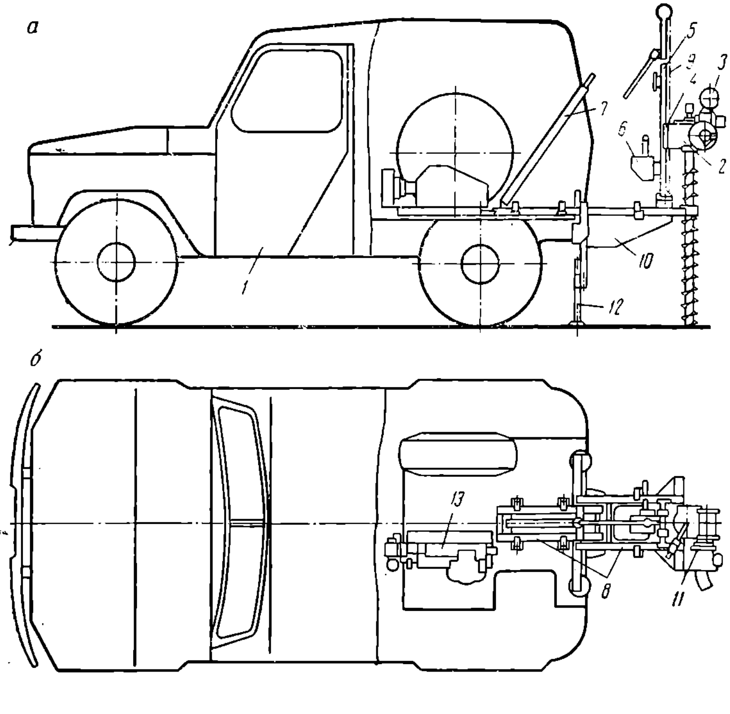


Рис. 65. Буровая установка УКБ-12/25 (конструкции СКБ МГ СССР).

а — вид сбоку; *б* — вид спереди.

1 — бензодвигатель «Дружба»; *2* — бензобак; *3* — вращатель; *4* — каретка; *5* — направляющая; *6* — лебедка; *7* — подкос; *8* — рама; *9* — колеса от мотороллера «Вятка»; *10* — опора; *11* — цепи



отсутствуют, транспортировка грузов осуществляется вертолетами и по рекам. Скважины бурились по линиям, глубина достигала 35 м (вместо технически запроектированной 25 м). Бурение производилось шнеками (60 мм) — 30% объема; алмазными коронками (44—57 мм) — 5,7% объема; победитовыми коронками — 64% объема. Общий объем бурения за полевой сезон 1968 г. составил 3452 пог. м, из них 2658 пог. м по породам IV и V категорий.

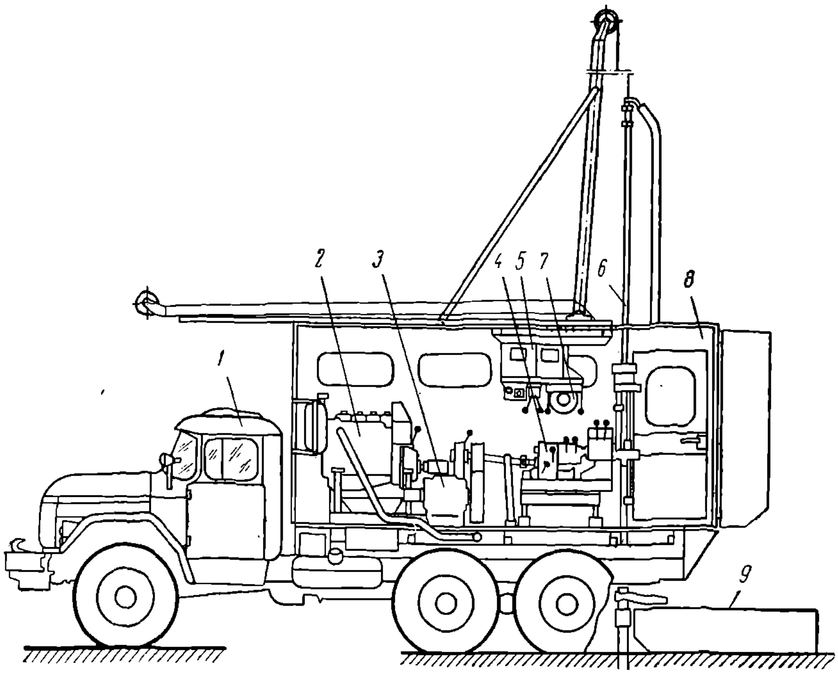


Рис. 67. Самоходная поисковая установка СПУ-100 (конструкции СКБ МГ СССР).

1 — автомобиль ЗИЛ-131; 2 — двигатель (Д-37Е-С3); 3 — насос; 4 — буровой станок типа БСК-2М2-100; 5 — каротажная аппаратура; 6 — комплект бурильных труб диаметром 42 мм; 7 — лебедка с мачтой; 8 — кузов с отопительно-вентиляционной установкой ОВ-65; 9 — металлическая емкость для промывочной жидкости

Экономия от внедрения УПБ-25, заменившего ручное бурение, за девять месяцев составила 31 996 руб. Сметная стоимость проходки 1 пог. м шурфа — от 16,77 до 26,35 руб. ручного бурения — 4,28 руб., бурения станком УПБ-25 — от 3,43 до 6,77 руб.

По данным В. П. Прованова, К. В. Платонова и А. Е. Фроликова [143], в Краснодарской экспедиции станки УПБ-25

Рис. 66. Самоходная буровая установка УКБ-12/25С (конструкции СКБ НПО «Геотехника» МГ СССР). *а* — вид сбоку; *б* — вид сверху

1 — автомобиль УАЗ-469Б; 2 — вращатель; 3 — бензобак; 4 — каретка; 5 — направляющая; 6 — лебедка; 7 — подкос; 8 — рама; 9 — цепь; 10 — откидной кронштейн; 11 — приводной двигатель; 12 — откидной домкрат; 13 — насос

применяют с 1966 г. в основном при поисках ртутных месторождений. Сравнение разных способов геологопоисковых работ свидетельствует о высокой экономической эффективности применения станков УПБ-25 вместо проходки канав, траншей и шурфов. За счет такой замены получена экономия около 10 тыс. руб. Особенно эффективно применение станков УПБ-25 в труднодоступных горных районах. В этой же экспедиции были проведены испытания нового станка УКБ (12) 25, имеющего ряд преимуществ по сравнению со станком УПБ-25: трехскоростной откидной редуктор-вращатель, который может быть использован в качестве мотобура, и др.

Объемы горно-буровых работ, применяемых для решения поисковых или поисково-оценочных задач, определяются условиями их выполнения. Минимальные объемы, выполняемые при предварительных поисках, составляют по ЕНВ от 25 до 75 $м^3$ в месяц для партии. Специальные объемы для детальных поисков и поисково-оценочных работ рассчитываются отдельно; наиболее значительные объемы горно-буровых работ приходятся на закрытые районы. Проектирование объемов горно-буровых работ должно базироваться на данных о геологическом строении района и характере геофизических полей и аномалий.

ВЫВОДЫ

В проектах поисковых и поисково-оценочных работ необходимо предусматривать новые прогрессивные горно-буровые методы, позволяющие увеличивать эффективность работ и уменьшать сроки их проведения.

Подводные методы поисков

Подводные методы поисков применяются для обнаружения месторождений полезных ископаемых, залегающих под водами океанов и морей или в прибрежных частях континента, периодически заливаемых водой. На континенте эти методы применяются для поисков месторождений под водами озер и крупных рек.

Подводные методы объединяют все основные группы методов поисков (геологические, минералогические, геохимические, геофизические, горно-буровые), но используются в особых условиях постоянного или периодического наличия водных масс над объектами поисковых работ. Это обусловливает необходимость разработки и применения особых модификаций поисковых методов, приемлемых в данных условиях.

Объектами подводных поисков являются различные твердые полезные ископаемые, среди которых основное значение имеют прибрежно-морские россыпи тяжелых минералов; в глубинных частях океанов — месторождения железисто-марганцевых конкреций и др.

В СССР в последние годы начались исследования в области подводных поисков. Создан специальный институт ВНИИМОРГЕО,

а в некоторых территориальных геологических управлениях — специальные экспедиции и партии. Издаются статьи и сборники, посвященные подводным методам поисков [102 и др.]. Разрабатываются технические средства ведения поисковых работ: геофизическая аппаратура, пробоотборники, понтонные суда, платформы и пр. При этом учитывается многолетний опыт подводных поисков в других странах (Индии, Австралии, Новой Зеландии, Индонезии, США и др.).

Подводные поисковые работы осуществляются с надводных и подводных кораблей, аквалангистами или обычными наземными методами в условиях побережья. Работы ведутся в глубинных частях океанов или в прибрежной их зоне, а также в различных частях континентальных водоемов.

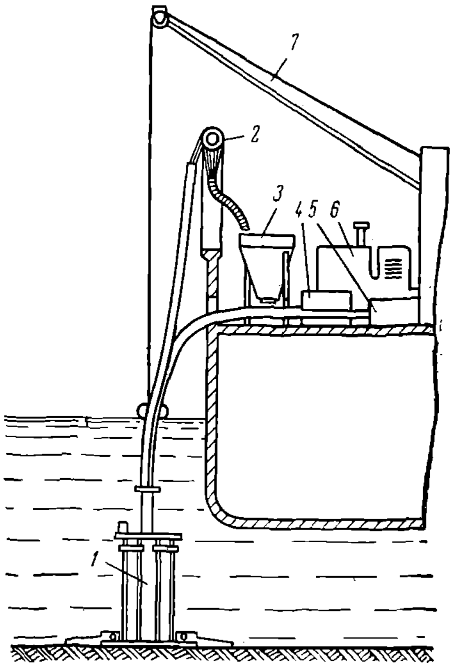


Рис. 68. Поисково-разведочная эрлифтная буровая установка на экспедиционном судне (по Б. А. Белову и др.).

1 — буровой снаряд типа БГСТ-2; 2 — воздухоотделитель; 3 — узел приема гидросмеси; 4 — водяной насос; 5 — компрессоры; 6 — дизель-генератор; 7 — грузовая стрела

В глубинных частях океанов исследования, всегда включающие и элементы поисков полезных ископаемых, ведут с надводных кораблей типа «Академик Курчатов», «Витязь», «Дмитрий Менделеев» и др. Проводят профильные пересечения океанов, в процессе которых применяют минералогическое и геохимическое опробование донных отложений с помощью специальных снарядов (желонок, драг, трубок и др.). В процессе такого опробования были выявлены, например, огромные залежи железисто-марганцевых конкреций в пределах глубинных частей Тихого океана.

В прибрежных частях океанов проводят исследования с надводных кораблей разной конструкции, в том числе и с понтонных, которые сохраняют устойчивость при ведении буровых и опробовательских работ в прибрежной зоне. С понтонных и других судов проводят геофизические, минералогические и геохимические исследования донных отложений. Для определения мощности донных отложений используют акустические модификации сейсмических методов. Отбор минералогических и геохимических проб производят пневмо-поршневыми трубками,

эрлифтами, грейферами. Бурение скважин выполняют, например, установками типа БГСТ-2, смонтированными на экспедиционных судах (рис. 68). Поисковую сеть ориентируют в зависимости от положения ожидаемой россыпи по отношению к береговой линии. При поисках прибрежных россыпей поисковые профили (галсы) ориентируют перпендикулярно береговой линии, при поисках долинных речных россыпей, погребенных под водами морского побережья, галсы ориентируют параллельно береговой линии. В пределах пляжа, периодически заливаемого водой, при поисках россыпей проходят неглубокие горные выработки, располагаемые по профилям перпендикулярно береговой линии.

В перспективе намечается применение поисковых методов с подводных кораблей. В США, во Франции и в Японии проводятся эксперименты по использованию подводных подвижных судов и стационарных станций. Американские конструкторы предлагают использование колесных и цепных систем для передвижения подводных станций по дну. В СССР проводятся испытания подводных станций типа «Черномор», в которых длительное время могут работать аквалангисты. Такая станция может погружаться на глубину до 30 м, в ней работает четыре человека примерно до одного месяца. Наблюдения ведутся из станции и при выходе аквалангистов в море из специального шлюзового блока. Лабораторией подводных исследований «Ихтиандр» проведены испытания подводной буровой установки ПБУ, предназначенной, по данным Н. А. Айбулатова и др. [75], для бурения со дна водоемов мелких вертикальных скважин глубиной до 30 м в осадочных рыхлых и коренных породах. Установка ПБУ испытывалась в 120 м от берега на глубине 7 м. Постановка на грунт осуществлена с помощью стрелы экспедиционного судна «Академик Обручев». Установка ПБУ обслуживается легководолазами, прошедшими подготовку и имеющими опыт работы под водой. В результате подводных испытаний была пробурена скважина глубиной 11,2 м. Медико-физиологические исследования показали, что труд подводных бурильщиков связан со значительными затратами энергии. Поэтому предлагается создать индивидуальную систему жизнеобеспечения для легководолазов-бурильщиков.

На континенте подводные методы ведутся на тех озерах и крупных реках, под водами которых залегают полезные ископаемые. При этом используют все известные методы поисков, осуществляемые с понтонных судов или со льда замерзающих водоемов.

ВЫВОДЫ

Подводные методы поисков полезных ископаемых начинают активно развиваться, особенно в тех странах, которые омываются океанами и морями. В 1964 г. был издан специальный международный закон, определивший права государств на проведение работ в районах континентального шельфа, примыкающего к границам государств. Разработка месторождений, особенно россыпей,

в таких районах весьма выгодна, так как не требует вскрышных работ и позволяет механизировать все процессы. Поэтому любые усовершенствования известных методов поисков здесь имеют большое значение.

Общие выводы по методам поисков

1. В современных условиях используется очень много различных методов поисков. В проектах поисковых работ необходимо предусматривать рациональный комплекс поисковых методов, удовлетворяющий геологическим, ландшафтно-географическим и экономическим условиям района.

2. Рациональный комплекс — это наиболее правильное сочетание известных и новых методов поисков полезных ископаемых. Например, для поисков золоторудных месторождений обязательным является использование старого, но эффективного метода — шлихового, который должен дополняться новыми методами — геохимическим и геофизическим [15].

3. Глубинность поисковых методов (разрешающая их возможность) определяется многими факторами, среди которых важными являются принцип, положенный в основу метода; геологические

Таблица 22

Ориентировочная глубинность некоторых поисковых методов

Ориентировочная глубина выявления месторождений или благоприятных структур	Методы поисков полезных ископаемых	
Первые сантиметры — первые метры при благоприятных условиях — первые десятки метров	Ядернофизические Радиометрические	Шлиховой Литогеохимический по рыхлым отложениям Валунно-ледниковый Обломочно-речной
Первые метры — первые десятки метров	Высокочастотные электрометрические	Эманационная съемка
Десятки — первые сотни метров	Средне- и низкочастотные электрометрические	Литогеохимический по коренным породам Газовая съемка
Сотни — первые тысячи метров	Магнитометрические	Бурение
Первые тысячи метров — десятки тысяч метров	Гравиметрические Сейсмометрические	Геологический прогноз

условия его применения; характер объекта поисков с точки зрения создаваемых им аномалий и т. п. Поэтому от применения каждого метода поисков можно ожидать получения тех результатов, которые соответствуют его разрешающей возможности. При этом необходимо учитывать существующие варианты применения метода для прямых или косвенных (выявление лишь благоприятных структур или геологических образований) поисков.

В самом приближенном виде можно наметить следующие границы глубинности поисковых методов (табл. 22).

Для повышения глубинности отдельных методов поисков применяются специальные приемы или модификации методов. Например, увеличение глубинности некоторых геофизических и геохимических методов может осуществляться путем применения их в каротажных вариантах.

Глава 3

ЛАНДШАФТНО ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВЕДЕНИЯ ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Методика поисков месторождений полезных ископаемых, представляющая собой совокупность поисковых методов и последовательность их проведения, определяется следующими факторами: геологическими, ландшафтно-географическими, экономическими и стадийностью работ. Главными являются геологические факторы, обсуждению которых был посвящен II раздел. Здесь будут рассмотрены ландшафтно-географические факторы, также имеющие большое значение для проектирования и проведения поисковых работ и оценки их результатов.

Ландшафтно-географические факторы, связанные с эрозионной деятельностью, выражаются в характере рельефа местности и в глубине эрозионного среза; связанные с климатическими особенностями — в характере почв, растительного покрова, подземных и поверхностных вод и коры выветривания.

Ландшафтно-географические факторы определяют степень обнаженности района (открытые, закрытые районы); мощность рыхлых отложений и коры выветривания; условия формирования вторичных (экзогенных) минералогических и геохимических полей, а также контрастность (отчетливость) аномалий; рациональный комплекс поисковых методов, параметры поисковой сети.

По классификации О. А. Глико [48] выделяются следующие типы рельефа:

1. Эрозионно-денудационный рельеф неотектонических поднятий:

— складчатых областей (высокогорный, среднегорный, низкогорный, равнинный);

— плит (плоскогорный, слоево-равнинный).

2. Аккумулятивный рельеф неотектонических опусканий — равнинный.

Характер рельефа исследуемого района влияет на транспортные условия ведения поисковых работ и эффективность применения отдельных поисковых методов (табл. 23).

Таблица 23

Относительная эффективность применения поисковых методов в условиях различного рельефа

Рельеф	Аэрометоды	Наземные методы				
		Геологические	Минералогические	Геохимические	Геофизические	Горно-буровые
Высокогорный	————	————	————	—	—	—
Среднегорный	————	———	———	——	——	—
Низкогорный	———	——	——	———	——	——
Равнинный	——	—	——	—	———	———

Приведенная выше диаграмма (см. табл. 23) позволяет в самой общей форме производить выбор комплекса поисковых методов в зависимости от условий рельефа, если поиски производятся на поверхности земли.

Изучение характера рельефа в поисковых целях проводится путем дешифрирования топографических карт, аэрофотоматериалов и геоморфологических карт.

К л и м а т и ч е с к и е о с о б е н н о с т и района, имеющие значение для ведения поисковых работ, связаны с характером биоклиматических зон планетарного, регионального и локального масштабов. В пределах планетарных биоклиматических поясов земного шара выделяются региональные биоклиматические зоны и провинции (рис. 69): арктических пустынь, тундр, лесотундр, тайги, лесостепей, полупустынь, пустынь влажных субтропиков, сухих субтропиков. Особо выделяются горные области с высотной биоклиматической зональностью. Возможности использования отдельных методов поисков полезных ископаемых в различных биоклиматических зонах показаны также в виде диаграммы (табл. 24).

Диаграмма показывает, что для каждой биоклиматической зоны возможности применения отдельных методов поисков примерно одинаковы. С другой стороны, сопоставление отдельных зон выявляет различное значение методов: максимум падает на степные зоны, наиболее благоприятные для использования различных методов поисков; минимум — на тундру и тропики, где использование методов поисков ограничено наличием соответственно вечной мерзлоты или мощной коры выветривания и т. п.

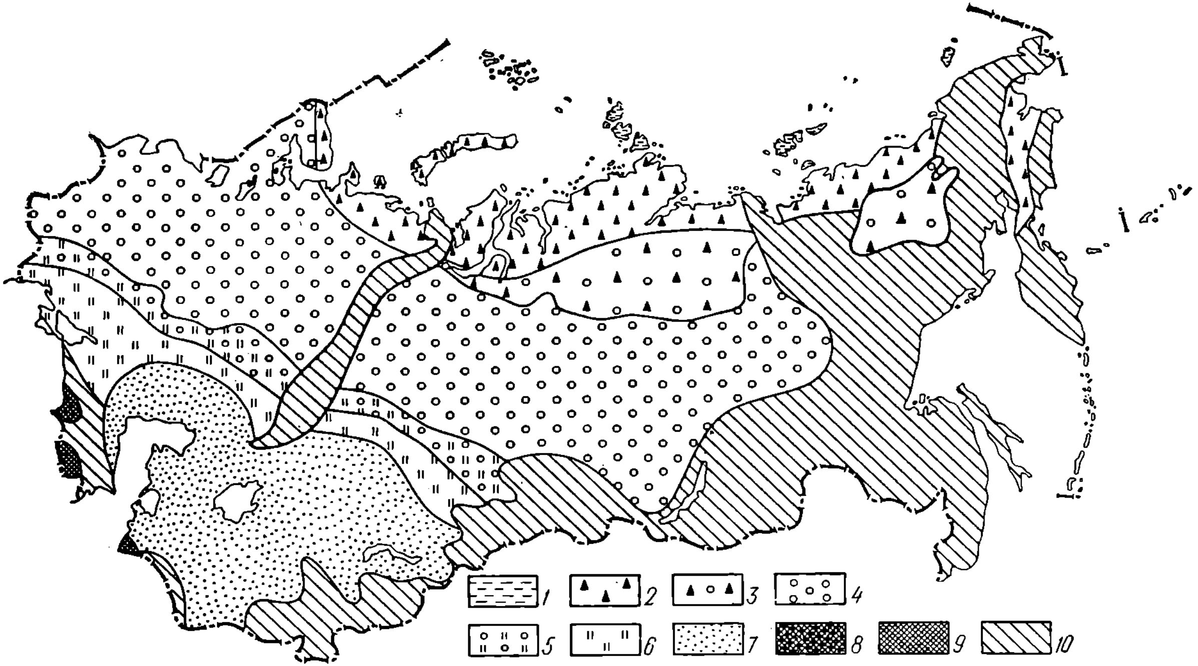


Рис. 69. Физико-географические зоны СССР (схема на основе карты «Физико-географическое районирование СССР» масштаба 1 : 10 000 000).

1 — зона арктических пустынь; *2* — зона тундр; *3* — зона лесотундр; *4* — лесная (таежная) зона; *5* — лесостепная зона; *6* — степная зона; *7* — зона полупустынь и пустынь; *8* — зона влажных субтропиков; *9* — зона сухих субтропиков; *10* — горные области с высотной зональностью ландшафтов различной структуры

Таблица 24

Относительная эффективность применения поисковых методов в различных биоклиматических зонах

Биоклиматические зоны	Аэрометоды	Наземные методы				
		Геологические	Минералогические	Геохимические	Геофизические	Горнобуровые
Тундра	—	—	—	—	—	—
Тайга	—	—	—	—	—	—
Степь	—	—	—	—	—	—
Пустыня	—	—	—	—	—	—
Тропики	—	—	—	—	—	—

В пределах биоклиматических зон выделяются так называемые элементарные ландшафты (по Б. Б. Полынову, М. А. Глазовской, А. И. Перельману): элювиальные (автономные), супераквальные (надводные) и субаквальные (подводные) (рис. 70).

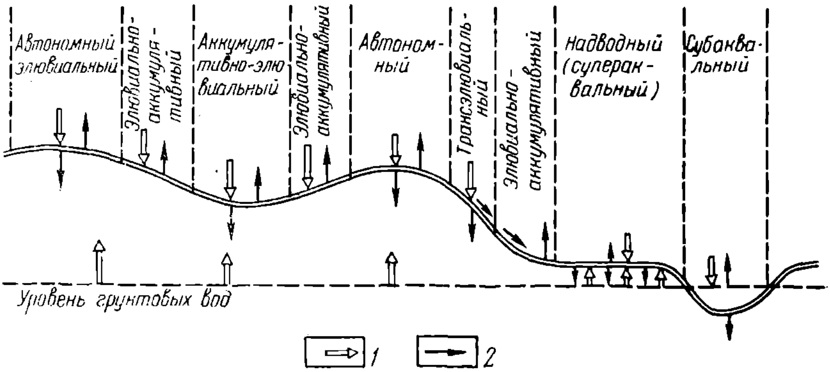
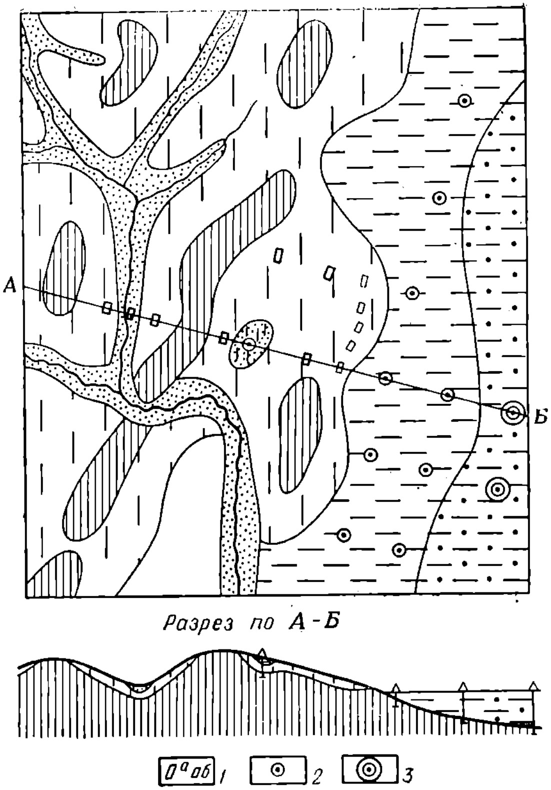


Рис. 70. Основные типы элементарных ландшафтов (по Б. Б. Полынову с дополнениями М. А. Глазовской).

1 — поступление веществ в ландшафт (из атмосферы, грунтовых вод); 2 — удаление веществ из ландшафта в атмосферу, грунтовые и поверхностные воды.

Каждый тип элементарного ландшафта имеет специфические особенности развития минералогических и геохимических ореолов рассеяния, связанные с месторождениями полезных ископаемых, и характеризуется различными возможностями применения отдельных методов поисков.

По данным А. И. Перельмана [133], различия между автономными, надводными и подводными ландшафтами заключаются в характере аккумулятивных процессов: в автономных они



Условные обозначен.	Рельеф	Ландшафт	Ореолы (минералогические и геохимические)	Методы поисков
	Эрозионно-денадуционный складчатой горной области	Элювиальный (выходы коренных пород с прилегающим элювием), мощность рыхлых отложений до 0,5 м Тундраво-гольцовая зона	Элювиальные остаточные	Литогеохимические (глубина отбора проб 0,3 м)
		Супераквальный (склоновые делювиально-пролювиальные отложения), 0,5-3,0 м Лесная зона	Делювиальные перемещенные	Литогеохимические (глубина отбора проб - горизонт С) Шлиховой (копущение склонов)
		Карст и другие депрессии (склоновые отложения), 3,0-10,0 м	Элювиально-делювиальные	Литогеохимические
		Субаквальный (аллювиальные отложения), 3,0-10,0 м Луга и кустарники	Аллювиальные (потоки рассеяния)	Обломочно-речной Шлиховой. Литогеохимические по донным осадкам
а, б	Аккумулятивный предгорной равнины	Межгорные равнины (аллохтонные отложения), а - 20-30 м, б - > 30 м Лесостепная и степная зоны	Погребенные	Геофизические Бурение (картировочное, поисковое) Литогеохимические (по керну) Гидрогеохимические

Рис. 71. Пример карты ландшафтных условий ведения поисковых работ.

1 — канавы (*а*) и копуши (*б*); *2* — скважины неглубокие; *3* — скважины глубокие

ограничиваются аккумуляцией из горных пород и атмосферы, а в надводных и подводных имеет место еще аккумуляция веществ из грунтовых и подземных вод.

Мощность элементарного ландшафта определяют от его верхней границы в тропосфере до нижней границы, которой обычно является первый от поверхности водоносный горизонт.

Строение элементарного ландшафта влияет на условия применения различных методов поисков. Например, мощная толща надземной растительности в тропиках и таежной зоне затрудняет дешифрирование аэрофотоматериалов, а наличие в тропиках мощной коры выветривания ограничивает использование литогеохимических методов поисков. В степных районах, наоборот, эти методы могут применяться более эффективно, так как здесь весьма незначительна мощность растительного покрова и относительно невелика мощность коры выветривания.

В результате изучения ландшафтов составляют ландшафтные карты, принципы которых изложены в ряде работ [43, 123]. Используя эти принципы, а также учитывая задачи поисков полезных ископаемых, могут быть составлены карты ландшафтных условий ведения поисковых работ. Такие карты должны составляться на этапе проектирования поисков, уточняться в процессе полевых работ и дорабатываться при камеральной обработке полевых материалов.

Изучение ландшафтов и составление карт ландшафтных условий ведения поисковых работ должно быть совмещено с геологическим картированием и поисками полезных ископаемых.

При проектировании поисковых работ составляют предварительные ландшафтные карты на основе дешифрирования аэрофотоматериалов, анализа топографических и геологических карт. В период полевых работ проводят дополнительные наблюдения в процессе геологического картирования и поисков, а также уточнение предварительной ландшафтной карты при составлении полевой геоморфологической карты. При камеральной обработке составляют геоморфологическую карту и на ее основе окончательный вариант карты ландшафтных условий ведения поисковых работ, на которой отражают формы рельефа, типы ландшафта, характер минералогических и геохимических ореолов рассеяния и возможные методы поисков, рекомендуемые для применения в данных условиях (рис. 71).

Глава 4

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОИСКОВ

При выборе рационального комплекса методов поисков полезных ископаемых могут использоваться два направления: первое — традиционное геолого-экономическое; второе основано на широком применении математического анализа и ЭВМ.

Геолого-экономическое направление учитывает совокупность геологических, ландшафтно-географических и экономических факторов.

При учете *геологических факторов* принимают во внимание характер полей и аномалий — геологических, минералогических, геохимических, геофизических [145]. Для выбора рационального комплекса методов поисков прежде всего анализируют характер объекта поисков (известный или ожидаемый) с точки зрения создаваемых им аномалий. Рассмотрим это на двух примерах.

Пример 1. Складчатая зона; район сложен осадочными терригенными отложениями — песчаниками, алевролитами, сланцами, пересеченными крупными разрывными нарушениями. Предварительными поисками в районе установлены шлихи с повышенными содержаниями киновари (до 30—40 знаков на шлих). Ожидаемым объектом поисков могут быть месторождения или проявления киновари, которая обычно создает отчетливые (контрастные) минералогические аномалии в рыхлых отложениях. Здесь же в склоновых отложениях могут быть геохимические аномалии ртути. Учитывая эти данные, выбирается следующий рациональный комплекс методов для проведения детальных поисковых работ: главные методы — шлиховой и литогеохимический, а также геологический; вспомогательные методы —атмогеохимический, геофизический; методы проверки аномалий — горно-буровые.

Пример 2. Плита; район сложен четвертичными отложениями, перекрывающими осадочный чехол плиты. Аэромагнитной съемкой выявлены магнитные аномалии высокой интенсивности (до 20 тыс. гамм). Ожидаемый объект поисков — месторождение магнетитовых руд, залегающее в кристаллическом фундаменте плиты. Рекомендуемый рациональный комплекс методов поисков: главные методы — наземная магнитная съемка и бурение; вспомогательные — минералогические, геохимические.

Ландшафтные условия района определяют выбор тех разновидностей методов поисков, которые могут быть наиболее эффективными в данных условиях. Например, использование горно-буровых методов в значительной степени зависит от мощности рыхлых отложений: до 3 м проходят канавы, траншеи; от 3 до 10 м применяют мотобур М-1; проходят шурфы; от 10 до 25—30 м — используют станки УПБ-25 и т. д.

Экономические условия района поисковых работ также оказывают существенное влияние на выбор комплекса поисковых методов. При этом должны учитываться степень экономического развития района, экономическая эффективность отдельных поисковых методов и их комплексов, а также организации поисковых работ.

По степени экономического развития могут быть выделены две группы районов; новые районы, где отсутствует горная про-

мышленность, и известные (старые) районы, где существуют действующие горнообогатительные и металлургические предприятия. В новых районах рациональный комплекс поисковых методов выбирается с учетом обнаружения всех видов полезных ископаемых, которые здесь могут оказаться. В связи с этим комплекс должен включать те методы поисков, которые соответствуют геологическому и тектоническому строению района.

В известных районах при выборе рационального комплекса поисковых методов ориентируются на месторождения полезных ископаемых, уже обнаруженные в данном районе, а также на характер создаваемых ими аномалий.

Экономическая эффективность отдельных методов поисков и их комплексов определяется прежде всего возможностью сокращения объемов наиболее дорогостоящих методов. К таким, например, относятся горно-буровые методы, стоимость которых в общем комплексе работ наиболее значительна. Анализ характера минералого-геологических полей и аномалий позволяет производить бурение картировочных и поисковых скважин по наиболее рациональной системе. Приведем для примера некоторые данные.

Пример 1. Для Казахстана вопросы экономической эффективности комплексных геолого-геофизических исследований при картировании и поисках в масштабе *1 : 50 000* проанализированы В. В. Бродовым [23] по материалам обычных съемочных производственных партий и опытных партий, в которых применялся широкий комплекс геофизических методов. Средняя стоимость одного листа опытной съемки, сопровождаемой предварительными поисками, в закрытых и полузакрытых районах Северного Казахстана составляет 76 тыс. руб. против 100—115 тыс. руб. в обычных съемочных партиях, в которых не применялись геофизические исследования. Средняя стоимость 1 км^2 геологической съемки и предварительных поисков соответственно равна 240 руб. вместо 285—335 руб. Как отмечает В. В. Бродовой, удешевление работ достигнуто главным образом за счет сокращения объемов картировочного бурения.

К подобным же выводам приходят М. Н. Столпнер и Г. И. Фундер [177], анализировавшие методику и экономику комплексной геологической съемки закрытых районов Зауралья. В приводимых ими данных затраты на картировочное и структурно-поисковое бурение в общей стоимости одного листа комплексной геолого-геофизической съемки и поисков масштаба 1 : 50 000 составляют почти половину всех затрат. Так, на бурение приходится 100 тыс. руб., на все остальные виды работ (геологическую съемку, гравиметрию, магнитометрию, электрометрию, топографические работы, поисковые, геологические и геофизические работы, лабораторные исследования, прочие затраты) 110 тыс. руб. При этом, как указывают авторы, бурение скважин на опорных профилях производится с учетом особенностей физического поля, ожидаемой расчлененности стратиграфического разреза и т. п. Если же бурение будет выполняться без предварительных комплексных геолого-геофизических исследований, то его объемы и стоимость резко возрастут и составят значительно *больше половины* всех затрат.

Сопоставление объемов поисковых работ, который необходим для выявления объектов с учетом характера геофизических полей и аномалий и без учета их, показано на схеме (рис. 72). Здесь видно, что без учета характера аномалий нужно пробурить

10 скважин, если же его учитывать, то количество скважин сокращается до двух.

Математическое направление в разработке рационального комплекса поисковых методов основано на широком использовании *математического анализа* с применением ЭВМ. Например, Л. А. Стениным выполнен математический анализ деятельности геологических, геофизических и геолого-геофизических организаций Уральского геологического управления за 1959—1963 гг. для оценки экономической эффективности комплексных исследований на стадии съемочных и поисковых работ и обоснования выбора рационального комплекса с целью решения конкретной геологической задачи. По данным Л. А. Стенина, приведенным в работе [84], на рассматриваемой территории, проводили съемочные и поисковые работы партии следующих типов: а) геологосъемочные; б) геологосъемочные комплексные, ведущие съемку и поиски геологическими, геофизическими и геохимическими методами; в) геофизические; г) геологопоисковые; д) комплексные геолого-геофизические, решающие поисковые задачи; е) комплексные геолого-геофизические, решающие одновременно задачи картирования и поисков. С целью выработки рациональных комплексов применяемых методов геологической съемки и поисков и построения в дальнейшем экономико-математических моделей производят формализацию исходных данных. Так, Л. А. Стениным введены следующие обозначения, на основе которых выполняются все последующие расчетные операции: г/с — геологическая съемка, г/п — геологические поиски, г/ф — геофизические исследования, «—» — последовательное ведение работ, «=» — параллельное ведение работ, «+» — комплексное ведение работ. Рациональным считается такое сочетание методов, при котором достигается (по опыту Уральского геологического управления) необходимая степень изученности территории: например, г/с + г/ф — г/п, г/ф — г/с + г/п, г/ф = г/с и т. п.

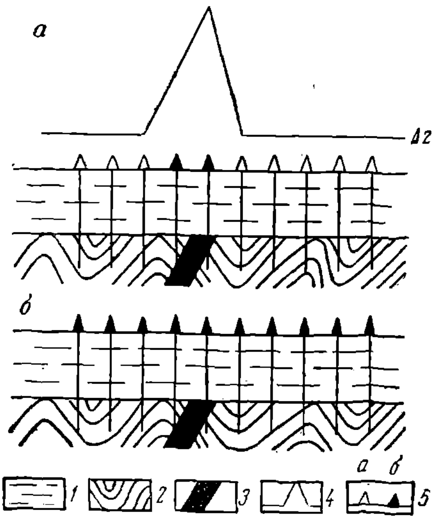


Рис. 72. Схема сопоставления объемов поискового бурения, проектируемых с учетом геофизических аномалий (*а*) и без такового (*б*).

1 — платформенный чехол; *2* — фундамент; *3* — месторождение магнетитовых руд; *4* — магнитная аномалия; *5* — буровые скважины: *а* — исключенные из проекта, *б* — намеченные по проекту

Вопросы применения ЭВМ при выборе рационального комплекса методов поисков полезных ископаемых освещаются в работе И. С. Туркина [183], который сравнил данные, полученные при проведении поисковых работ в одном из районов СССР, с результатами выбора комплекса методов с помощью ЭВМ. При этом учитывались следующие параметры: природные условия, включающие характеристику заболоченности, задернованности и обнаженности площади; масштабы работ 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 10 000; методы поисков или их комплексы. Для производства расчетов выполнялась необходимая формализация исходных данных. При этом были введены следующие обозначения: а — заболочено, б — задерновано, в — обнажено, масштаб 1 : 50 000 — x, 1 : 25 000 — y, 1 : 10 000 — z, пешеходный радиометрический метод — А, шпуровой радиометрический — Б, геохимический — В, гидрогеохимический — Г. На основе сопоставления данных, полученных при выборе рационального комплекса поисковых методов обычным способом (по указанной выше терминологии — геолого-экономическое направление) и при помощи расчета на ЭВМ, И. С. Туркин делает следующие выводы: «...Для более эффективного проведения поисковых работ следовало бы применять в основном методы А в масштабе x и Г в масштабе y, тогда как фактически был применен метод А в масштабе y. Помимо того что полученные при использовании ЭВМ методы и масштабы поисков существенно отличаются от фактических, вычисленные затраты на собственно поиски при тех же объемах на 1,5% меньше фактических...».

В приведенных кратких сведениях о попытках использования математического аппарата для выбора рационального комплекса поисковых методов прежде всего заметно полное отсутствие учета или недостаточность учета главного фактора — геологического, что является отрицательным элементом этого направления. Кроме того, обязательная для применения математического анализа формализация исходных данных требует различных вычислительных операций. Тем не менее применение математических методов может помочь решению проблемы выбора рационального комплекса поисковых методов, особенно в вопросах определения экономической эффективности предлагаемых комплексов.

В целом математическое направление может и должно быть вспомогательным для основного — геолого-экономического направления при выборе рационального комплекса метода поисков полезных ископаемых.

Глава 5

МЕТОДИКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ПОИСКОВ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ РЕГИОНАЛЬНУЮ ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СЪЕМКУ

Напомним, что поиски полезных ископаемых выполняются на двух стадиях геологоразведочного процесса. На I стадии — региональных геологосъемочных и геофизических работ проводятся предварительные поиски, сопровождающие региональную геологическую съемку, на II стадии — поисковой — осуществляются общие и детальные поиски, а также поисково-оценочные работы.

Основная задача I стадии заключается в составлении кондиционных геологических карт, разработке предпосылок и признаков поискового прогнозирования всех видов полезных ископаемых, а также в оконтуривании перспективных зон и площадей. Решение этих задач осуществляется путем изучения и оконтуривания геологических, минералого-геохимических и геофизических полей и выделения на их фоне аномальных зон и площадей.

Методика предварительных поисков полезных ископаемых на I стадии подчинена методике региональной геологической съемки, которую они сопровождают.

Региональная геологическая съемка масштаба 1 : 200 000 в настоящее время выполнена на площади, занимающей более 70% территории СССР. По опубликованным данным [124], в процессе предварительных поисков, сопровождавших геологическую съемку в период с 1959 по 1965 г., выявлено более 12 тысяч проявлений различных полезных ископаемых и открыто около 400 новых месторождений. Геологические карты послужили научной основой для средне- и крупномасштабного прогнозирования на все виды полезных ископаемых. Геологосъемочные работы, сопровождаемые предварительными поисками, стали дороже в связи с возросшим объемом буровых и горных работ, геохимических и геофизических исследований, а также с проведением этих работ в удаленных труднодоступных и плохо проходимых районах. Например, если стоимость 1 км^2 съемки в 1961—1965 гг. принять за 100%, то в 1970 г. она составила 148% [124]. Вместе с тем повысилась и эффективность этих работ. Однако возникла необходимость нахождения путей снижения стоимости геологосъемочных работ.

Поскольку методика предварительных поисков определяется методикой региональной геологической съемки, рассмотрим принципиальные схемы ее для основных видов съемки масштаба 1 : 200 000, которые в настоящее время выполняются в Советском Союзе (полистной, групповой, геологического дополнительного изучения, глубинной).

Полистная геологическая съемка масштаба 1 : 200 000 проводится в складчатых регионах на основе следующих исходных материалов: геологических карт масштаба

1 : 1 000 000 или 1 : 500 000, аэрогеофизических карт и аэрофотокарт, общих сведений о полезных ископаемых.

В рекомендуемый комплекс методов входят: аэрогеофизические съемки (аэромагнитная и аэрогаммасъемка) масштаба 1 : 200 000; гравиметрическая съемка того же масштаба; сейсмометрическое профилирование; геологическая съемка, сопровождаемая шлиховым опробованием аллювиальных отложений и литогеохимическим опробованием рыхлых отложений (аллювиальных и склоновых), а также изучением валунов, обломков, галек в аллювиальных отложениях (обломочно-речной метод поисков).

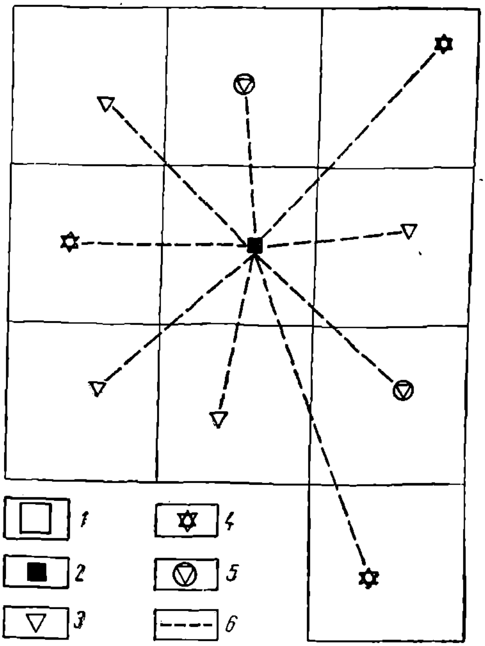


Рис. 73. Схема проведения групповой геологической съемки и сопровождающих ее предварительных поисков.

1 — планшеты съемки; 2 — база экспедиции (партии); десантные отряды; 3 — геологосъемочные, 4 — поисковые, 5 — тематические (стратиграфические, литологические и др.); 6 — направления выброски десантных отрядов

Все поисковые методы, сопровождающие геологическую съемку, осуществляют по линиям геологических маршрутов одновременно с проведением съемки. Аэрометоды и наземные геофизические наблюдения должны производиться на 1-й подстадии I стадии до начала геологической съемки.

Групповую геологическую съемку масштаба 1 : 200 000 стали выполнять в труднодоступных районах для ускорения работ и увеличения их эффективности. Как отмечают В. К. Еремин и С. М. Богородский [124], в основу групповой съемки положен принцип проведения геологических и поисковых работ одновременно на группе планшетов (листов), что создает лучшие условия для обзорности и обобщения всех данных по стратиграфии, магматизму, тектонике и размещению полезных ископаемых, а также исключает время на редактирование.

Основными средствами ускорения работ и увеличения их эффективности являются использование вертолетов для десантных съемочных и поисковых пересечений без «холостых» ходов; широкое применение дешифрирования аэрофотоснимков, космических снимков, аэролокационных снимков, аэроинфракрасных снимков; проведение детализационных съемочных и поисковых работ

с применением геофизических и геохимических методов на опорных (ключевых) и перспективных в отношении полезных ископаемых площадях и участках (рис. 73).

Последовательность проведения групповой геологической съемки масштаба 1 : 200 000 изложена по данным Г. В. Махина и В. А. Фараджева [124]: первый полевой сезон — рекогносцировочные пересечения с применением десантных маршрутов на вертолетах; второй и третий полевые сезоны — отработка опорных (ключевых) участков и экстраполяция полученных данных на всю территорию посредством десантных маршрутов отдельных наземных пересечений, повторного дешифрирования аэрофотоматериалов, применения минералогических, геохимических, геофизических и горно-буровых методов; четвертый полевой сезон — (при пятилетнем сроке работ) — окончательная увязка геологических данных и сбор дополнительного материала. В процессе полевых работ используется перфокартная система документации всех наблюдений, полевые стереоприборы для дешифрирования аэроснимков, запись аэровизуальных и десантно-съемочных наблюдений на магнитную ленту. Камеральные работы подразделяются на промежуточные послеполевые (шесть — восемь месяцев) и завершающие (до полутора лет). Отчет по групповой геологической съемке составляется по обычной схеме, но темой одной из основных его глав должна быть «Прогнозная оценка района в отношении полезных ископаемых». Отчет должен иметь приложение — альбом дешифрированных и аннотированных аэрофотоснимков [127].

Стоимость 1 км^2 площади групповой геологической съемки снизилась в 2—3 раза по сравнению со стоимостью 1 км^2 полистной геологической съемки.

Геологическое дополнительное изучение территории проводится на ранее заснятых площадях, где качество съемки и поисков не отвечает современным требованиям. Главными методами при этом являются дешифрирование аэрофотоматериалов, интерпретация аэрогеофизических данных и контрольные наземные маршруты.

Глубинная геологическая съемка масштаба 1 : 200 000 осуществляется на плитах, где изучению подлежат различные горизонты платформенного чехла и фундамента. В настоящее время такие работы проводятся на Русской платформе (Воронежский кристаллический массив, Белорусский массив), на Тимане, на восточном склоне Урала, на Западно-Сибирской плите, в Тургайском прогибе. Опыт этих работ позволяет приступить к планомерному геологическому картированию закрытых территорий с целью составления геологической основы, пригодной для выбора направления поисковых работ в подобных районах [124].

Для территории Западно-Сибирской плиты этот опыт был изложен еще в 1955 г. Н. Н. Ростовцевым и др. [155], по данным

которых ниже приводятся основные методы, применявшиеся для геологического и поискового изучения этой территории:

— аэромагнитная съемка масштаба 1 : 200 000 (за сезон обследовано 140 тыс. км²);

— сейсмозондирование — одно зондирование на площади 125 км² (в среднем);

— вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) между пунктами сейсмозондирования — одно зондирование на площади 250—300 км²;

— опорное бурение — расстояния между скважинами около 200 км, т. е. одна скважина на 40 тыс. км². На площадях, где платформенный чехол имеет мощность несколько сотен метров, были пройдены колонковые скважины, при более значительной мощности — роторные и турбинные.

На основе произведенных комплексных исследований и опорного бурения были построены схематические карты и разрезы фундамента, а затем прогнозные схемы и карты, на которых выделены перспективные площади для поисков скрытых месторождений различных видов полезных ископаемых.

Обобщение материалов по методике глубинной геологической съемки и поисков масштаба 1 : 200 000 в пределах закрытых территорий и плит позволило П. К. Чихачеву [191] наметить следующий уточненный комплекс применяемых методов и последовательность их выполнения:

— аэромагнитная съемка масштаба 1 : 200 000, позволяющая получать ценные материалы о строении и составе фундамента и гипсометрии его поверхности;

— гравитационная съемка масштаба 1 : 200 000, позволяющая выделять наиболее крупные элементы структуры складчатого фундамента;

— сейсмометрические исследования методами отраженных волн и корреляционным методом преломленных волн, дающие возможность выделять отражающие горизонты, маркирующие горизонты с различными значениями скорости прохождения волн и т. п.

— бурение опорных скважин с обязательным отбором керна и всесторонним комплексным его изучением. Такие скважины следует бурить до складчатого фундамента с проходкой по нему не менее 100 м или при значительной глубине залегания фундамента — до технически возможной глубины. Опорные скважины обязательно привязывают к профилям геофизических исследований. Между этими скважинами бурят более мелкие структурно-поисковые скважины на участках выявленных структур или геофизических аномалий. Скважины опробуют на все виды полезных ископаемых. П. К. Чихачев подчеркивает, что правильный выбор методики опробования скважин (спектрометрия, газо-гидрохимическое опробование, электрогамма-каротаж и другие типы каротажных исследований) позволяет с наименьшими затратами

получать наиболее полное представление о перспективах изучаемого района в отношении всех видов полезных ископаемых.

По опыту проведения глубинной геологической съемки масштаба 1 : 200 000 на Русской платформе сеть опорных и структурно-поисковых скважин может быть следующей:

— при мощности платформенного чехла до 500 м — две-три скважины на один лист масштаба 1 : 200 000;

— при мощности чехла от 500 до 1000 м — одна скважина на три-четыре листа;

— общий объем бурения может составить 4—6 тыс. пог. м на один лист съемки.

На площадях перспективных, выделенных на планшетах карт масштаба 1 : 200 000, выполняются геологосъемочные и поисковые работы масштаба 1 : 50 000.

Геологическая съемка масштаба 1 : 50 000, сопровождаемая предварительными поисками, выполнена на площади, составляющей около 14% территории СССР [124]. Рост стоимости геологической съемки данного масштаба обусловлен теми же причинами, что и рост стоимости съемки масштаба 1 : 200 000: Если стоимость проведения этой съемки в 1961—1965 гг. принять за 100%, то в 1970 г. она составила 186,5%.

Исходными материалами для выполнения геологической съемки масштаба 1 : 50 000 служат данные съемки масштаба 1 : 200 000, геологическая карта, карта полезных ископаемых или карта прогноза, карты — шлиховая, геохимическая, геофизические, аэрофотоснимки и др.

На будущее предусматривается выполнение рассмотренных выше видов съемки: полистной, групповой, геологического дополнительного изучения, глубинной [146]. Рассмотрим принципиальные схемы методики этих видов съемки и сопровождающих их поисковых работ.

Полистная геологическая съемка масштаба 1 : 50 000 выполняется в районах складчатых областей с использованием следующих методов:

— аэрометодов — аэрофотометодов и аэрогеофизических (1 : 50 000—1 : 25 000).

— наземных методов — магнитометрической, гравиметрической и геологической съемки, шлихового опробования аллювиальных и склоновых отложений, литогеохимического опробования склоновых отложений и коренных пород, гидрогеохимического опробования, атмогеохимического опробования, горно-буровых работ.

Групповую геологическую съемку стали выполнять с целью повышения производительности работ и эффективности поисков полезных ископаемых. В 1970 г. геологосъемочной экспедицией Красноярского геологического управления было начато проведение групповой опытно-производственной геологической съемки масштаба 1 : 50 000 в северо-западной части Енисейского кряжа в зоне сочленения его с Сибирской платфор-

мой. Площадь работ составляла 6 тыс. км^2 (17 планшетов). Методика этой групповой геологической съемки описывается по данным В. П. Богадицы, Л. К. Качевского и Д. И. Мусатова [124]:

— радарная высотная съемка масштаба 1 : 180 000 и 1 : 90 000;

— высотная аэрофотосъемка масштаба 1 : 100 000 и экспериментальная тепловая (инфракрасная) съемка;

— разработка дешифровочных признаков на основе многократного (предполевого, полевого, камерального) дешифрирования материалов аэрофотосъемки, а также высотной и радарной съемок.

— многократная и всесторонняя интерпретация геофизических материалов;

— планирование контрольных наземных маршрутов на основе карт дешифрирования и интерпретации;

— разделение площади на основе предварительной аэрогеологической карты на участки, требующие различного объема картировочных или поисковых исследований;

— детальное изучение отдельных разрезов (по сравнению с полистной съемкой (объем этих работ в два-три раза больше);

— целесообразное и целенаправленное проведение площадных поисковых работ с учетом региональных закономерностей размещения полезных ископаемых. На основании предпосылок и признаков поискового прогнозирования выделяют структуры, рудные зоны, узлы, перспективные для поисков полезных ископаемых. Например, на стадии проектирования было намечено девять перспективных участков (площадь 1200 км^2), на трех из них (85 км^2) в первый год съемки были поставлены детальные поисковые работы.

При организации и проведении групповой съемки предусматривается широкое применение бурения для оценки проявлений полезных ископаемых; централизованное использование транспортных средств (вертолетов, вездеходов); специализация ведущих геологов по конкретным разделам работ — стратиграфии, поискам и др.; применение всех современных методов геологических и поисковых исследований (биостратиграфического, геохимического и др.).

Стоимость 1 км^2 групповой геологической съемки масштаба 1 : 50 000 оказалась равной 297 руб., что на 25—30% ниже полистной съемки, которая проводилась ранее. В экспедиции работало 100 человек, из них 20 — ИТР. Отчетными документами групповой съемки являются следующие карты: геологическая, полезных ископаемых, прогноза, тектоническая, магнитного поля, четвертичных отложений, геоморфологическая, домезозойских отложений, кор выветривания.

Геологическое дополнительное изучение в масштабе 1 : 50 000 выполняется в известных горнорудных районах, где ставится задача выявления скрытых месторождений для обеспечения в будущем действующих горнообогатительных

предприятий. Методика этих работ предусматривает широкое использование дешифрирования аэроснимков, аэрогеофизических и наземных геофизических исследований, дополнительных геохимических исследований, а также дополнительного картировочного и поискового бурения. На основе полученных материалов следует составлять карты прогноза и серии вспомогательных геологических, геофизических, геохимических и других карт.

Примером региона, где в настоящее время проводится дополнительное геологическое изучение, являются некоторые районы Алтая, для территории которых ряд организаций составляет карты прогноза масштаба 1 : 50 000.

Глубинная геологическая съемка масштаба 1 : 50 000 ведется на плитах, в наиболее перспективных их районах, где мощность платформенного чехла наименьшая. Одним из таких районов является Воронежская антеклиза. Здесь с 1966 г. начато опытно-методическое картирование докембрия, залегающего на глубинах от 50 до 200 м. В этих районах применяется следующий комплекс методов:

— наземные геофизические исследования — гравиметрические, магнитометрические и электрометрические наблюдения в контуре определенной изогипсы поверхности погребенного фундамента;

— сейсмозондирование для глубинного картирования и сейсмометрические наблюдения МОВ для изучения мощности погребенных кор выветривания, выявления интрузивов и т. п.;

— петрофизическое изучение пород кристаллического фундамента;

— картировочное бурение по профилям через 35—40 км с расстояниями между скважинами 5—10 км (профили вкрест простирания основных докембрийских структур);

— картировочное бурение на отдельных аномалиях, находящихся между региональными профилями;

— бурение по перекрытым разрезам;

— опорное бурение (глубина до 1200—2000 м) с целью изучения локальных структур;

— структурно-поисковое бурение (отраслевое), например в зонах развития основных и ультраосновных пород. Глубина бурения по докембрийским породам не менее 20—50 м.

Во всех скважинах осуществляется геофизический и минерало-геохимический каротаж. Для изучения осадочных пород чехла предусматривается полный подъем керна не менее чем в одной трети скважин, в остальных скважинах — отбор керна в основании чехла над фундаментом в интервале не менее 25 м и в коренных породах фундамента. Особое внимание следует уделять выходу керна при бурении по древним корам выветривания. Гидрогеологические откачки производят в 50% структурно-картировочных скважин.

По результатам глубинной геологической съемки масштаба 1 : 50 000 планируется составление следующих карт: геологической карты фундамента, карт метаморфизма, структурно-тектонической, металлогенической, морфологии погребенной поверхности фундамента, погребенных кор выветривания, комплекса погоризонтных геолого-литолого-фациальных и структурных для платформенного чехла, новейшей тектоники, комплекса гидрогеологических и гидрогеохимических карт, прогноза полезных ископаемых в чехле и фундаменте.

Опыт работы Геологического управления центральных районов (ГУЦР) показывает, что при проведении глубинных поисковых работ в фундаменте плит следует ориентироваться на выявление не отдельных месторождений, а узлов развития однотипного оруденения (например, золота, свинца, цинка; меди, никеля; бокситов, россыпей; углей и др.).

Глава 6

МЕТОДИКА ОБЩИХ И ДЕТАЛЬНЫХ ПОИСКОВ

Общие и детальные поиски проводятся в районах с предполагаемыми или установленными видами полезных ископаемых и финансируются по определенной отрасли (черные металлы; цветные и редкие металлы; золото и другие благородные металлы; неметаллы; твердые горючие ископаемые).

Главное назначение подстадии общих поисков заключается в выявлении площадей и участков перспективных на нахождение месторождений, а также месторождений полезных ископаемых, в пределах геологических структур, выделенных в результате региональной геологической съемки масштаба 1 : 50 000. Общие поиски осуществляются на готовой геологической основе этого масштаба с применением различных поисковых методов. В процессе поисков составляются схематические геологические карты изучаемых участков в масштабах 1 : 25 000—1 : 10 000. В итоге общих поисков должна быть дана оценка перспектив исследованной территории на выявление промышленно ценных месторождений тех или иных видов полезных ископаемых с определением прогнозных запасов на тех участках, которые рекомендуются для постановки детальных поисковых работ.

Основной задачей подстадии детальных поисков является обследование перспективных участков, выделенных при общих поисках или при предварительных поисках для обнаружения проявлений и месторождений полезных ископаемых как на поверхности, так и залегающих на экономически доступных глубинах. Масштаб детальных поисков и составляемых при этом схематических или кондиционных геологических карт чаще всего соответствует 1 : 10 000, иногда 1 : 5000. В результате детальных

поисков должны быть выделены проявления полезных ископаемых, заслуживающие постановки поисково-оценочных работ.

Методика общих и детальных поисков различна для разных геологических, ландшафтно-географических и экономических условий. Однако главным фактором при выборе системы поисковых работ должен быть характер геологических и геофизических аномалий, которые могут создаваться ожидаемыми объектами поисков. Эти аномалии могут быть минералогические, геохимические, геофизические или структурно-тектонические. Причем один и тот же тип аномалий может характеризовать месторождения одинакового или разного генезиса, расположенные в одних и тех же или разных условиях. Например, месторождения магнетитовых руд разного генезиса и залегающие в разных тектонических условиях (в фундаменте плит, в складчатых зонах и т. п.) создают магнитные аномалии высокой интенсивности, которые и определяют выбор методики поисковых работ. Россыпи различного происхождения и расположенные в разных тектонических и ландшафтно-географических условиях (например, древние россыпи в чехле плит, четвертичные аллювиальные россыпи в складчатых зонах, современные прибрежно-морские россыпи) сопровождаются ореолами рассеяния тяжелых минералов, которые и являются главными факторами, определяющими применение прежде всего шлихового метода поисков.

Поэтому в основу методики общих и детальных поисков может быть положена группировка месторождений твердых полезных ископаемых по характеру создаваемых ими аномалий, приведенная в I разделе данной книги (см. табл. 5).

Рассмотрим системы поисков для каждой из выделенных групп месторождений. При этом будем считать, что системой поисковых работ будет называться совокупность главных и вспомогательных комплексов поисковых методов, с помощью которых можно обнаружить искомый объект. Следует обратить особое внимание на то, что если на I стадии предварительные поиски полезных ископаемых определялись методикой региональной геологической съемки, которую они сопровождают, то на двух первых подстадиях II стадии, собственно поисковой, методика поисков имеет самостоятельное значение и разрабатывается с единственной целью — обнаружения месторождений полезных ископаемых.

В связи с этим применяемая при общих и детальных поисках геологическая съемка подчинена решению поисковых задач.

I группа включает месторождения, создающие отчетливые геологические и неотчетливые минералогические, геохимические и геофизические аномалии. В эту группу могут быть отнесены месторождения пьезооптического сырья, слюд, графита, магнезита, углей, огнеупоров, керамического сырья, стройматериалов.

Система поисковых работ для выявления подобных месторождений: главный комплекс методов — геологические, горно-буровые, вспомогательный комплекс методов — минералогические, геохими-

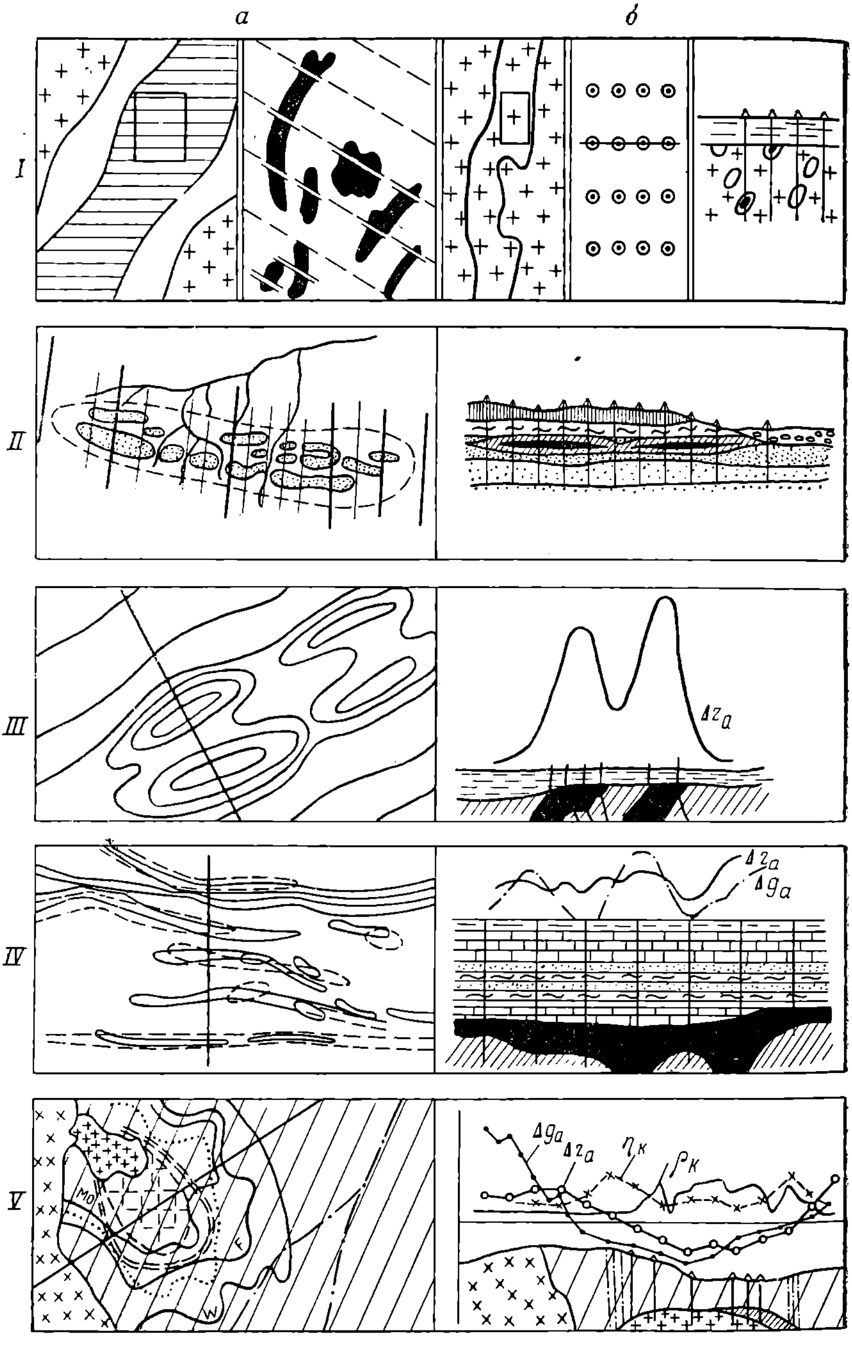
ческие, геофизические. Наличие неотчетливых аномалий, сопровождающих месторождения данной группы, заставляет ориентироваться на наиболее дорогостоящие методы поисков — горнобуровые, необходимость применения которых должна опираться на данные геологической съемки.

Пример 1. Месторождения слюд (мусковит) в пегматитах, залегающих среди гнейсов, гранито-гнейсов, кристаллических сланцев. По своим физическим и геохимическим параметрам мусковит очень близок к вмещающим породам, что и обусловливает неотчетливость основных аномалий. В связи с этим при детальных поисках здесь используют поверхностные горные выработки (канавы, траншеи, шурфы), которые располагают вкрест простирания главных элементов структуры, выявленной в процессе геологической съемки. В Мамско-Чуйском районе для обнаружения мусковитоносных пегматитов применяют поисковую сеть горных выработок с расстояниями между поисковыми линиями в 80, 120, 160, 200 м и т. д. Поиски ведутся на перспективных участках (площадью около 1 км^2), которые намечаются в пределах единой перспективной зоны, выделенной в полосе кристаллических сланцев и расположенной между гранитными массивами (рис. 74).

Другие методы поисков слюд имеют вспомогательное значение. Например, геофизические методы используют для расшифровки геологических структур. Попытки применения геохимических методов как прямых методов поисков слюд не дали положительных результатов. Так, геохимическое опробование флогопитовых месторождений показало, что флогопитоносные тела создают аномалии фтора (2—3%) при нормальном поле вмещающих пород с содержаниями фтора 0,007—0,1%. Однако эти аномалии почти не распространяются во вмещающие породы, что затрудняет поиски флогопитоносных тел. Кроме того, аномалии фтора могут создаваться месторождениями и других полезных ископаемых, что обусловливает сложность решения поисковой задачи.

Пример 2. Скрытые месторождения пегматитовых тел с пьезокварцем, залегающие в гранитах. Пегматитовые тела образуют в эндоконтактовой зоне гранитного массива поле размером 2,5—3 × 30 км. Установленная глубина распространения камерных продуктивных пегматитов в этой зоне достигает 600 м. Главными факторами, определившими систему поисковых работ для выявления пегматитовых тел с пьезокварцем, являются близкие физические и минералого-геохимические свойства пегматитов и вмещающих гранитов и связанное с этим развитие очень слабых и маломощных аномалий; разобщенность пегматитовых тел, их небольшие размеры (от 25 до 530 м^2 в плане) и наличие перекрывающей граниты толщи рыхлых осадочных отложений мощностью до 15—25 м (см. рис. 74, *б*, *I*). Перечисленные особенности вызывают необходимость вести поисковые работы на больших площадях с незначительной вероятностью встречи поисковыми пересечениями отдельных пегматитовых тел. Поэтому параметры поисковой сети скважин постепенно уменьшают, пока не достигнут оптимальных размеров сети: 200 × × 160 м, 100 × 80 м, 50 × 40 м, 25 × 20 м. Как отмечают В. С. Булгаков и В. И. Панченко [24], поисковая сеть 25 × 20 м может считаться оптимальной на основе данных практики бурения, а также теоретических расчетов, выполненных с использованием методики И. Д. Савинского [159].

Применение геохимических и геофизических методов для поисков скрытых пегматитовых тел пока не дало положительных



а
б
I
II
III
IV
V
Δz_a
Δg_a
Mo
W
F
η_к
ρ_к

результатов. Эти методы могут использоваться только как вспомогательные, главными же остаются геологические и буровые. Первые — обосновывают выбор перспективной зоны и участков, вторые — позволяют выявить продуктивные пегматитовые тела. В итоге проведения поисковых, а затем и разведочных работ на данном пегматитовом поле получена очень плотная сеть буровых скважин, что может показаться нецелесообразным. Однако это результат того, что в природе есть объекты, которые по своим свойствам близки к фону вмещающих их образований. В связи с этим приходится, с одной стороны, затрачивать большие средства на их выявление, применяя наиболее дорогостоящие методы поисков, а с другой — постоянно решать совместными усилиями геологов, геофизиков и геохимиков проблему разработки новых методов поисков или усовершенствования старых для обнаружения слабых неотчетливых аномалий, создаваемых такими объектами.

II группа включает месторождения, создающие отчетливые геологические, минералогические и геохимические аномалии. В эту группу могут быть включены россыпи золота, касситерита, минералов титана; месторождения лимонитовых, сидеритовых и марганцевых руд, силикатных руд никеля, фосфоритов, серы, солей, флюорита, асбеста, талька, корунда; низкотемпературные месторождения свинца и цинка, меди, сурьмы и ртути.

Система детальных поисков для выявления подобных месторождений: главный комплекс поисковых методов — геологические, минералогические, геохимические, горно-буровые; вспомогательные методы — геофизические.

Рис. 74. Схемы, показывающие системы детальных поисковых работ для пяти групп месторождений, выделенных по характеру создаваемых ими аномалий.

I — месторождения, создающие неотчетливые аномалии. *а* — (по П. Н. Маркову): слева — схема перспективной зоны развития слюдоносных пегматитов. Участок детальных поисков показан прямоугольным контуром; справа — схема участка детальных поисков (черное — пегматиты; линии — профили и канавы). *б* — (по В. С. Булгакову и др.): слева — схема перспективной зоны развития пегматитов с пьезокварцем в эндоконтакте гранитного массива. Участок детальных поисков показан прямоугольником; в центре — план участка с сетью поисковых скважин; справа — разрез по профилю скважин.

II — месторождения, создающие отчетливые минералогические и геохимические аномалии. *а* — план россыпного месторождения ильменита в платформенном чехле (по Н. Т. Вадимову): пунктирный контур — площадь месторождения (минералогическая аномалия); крап — залежи богатых руд; линии — профили поисковых (толстые линии) и поисково-оценочных скважин (тонкие линии). *б* — разрез месторождения по одному из профилей.

III — месторождения, создающие отчетливые простые геофизические аномалии. *а* — план изодинам магнитной съемки; *б* — разрез магнетитового месторождения (черное), погребенного в палеозойском фундаменте под платформенным чехлом; над месторождением отчетливые магнитные аномалии (по Н. И. Патаридзе).

IV — месторождения, создающие сложные геофизические аномалии. *а* — план гравитационных (пунктирные линии) и магнитных (сплошные линии) аномалий района Гостищевского месторождения богатых железных руд КМА (по И. А. Русиновичу). *б* — разрез Гостищевского месторождения (черное), погребенного в докембрийском фундаменте под палеозойским платформенным чехлом.

V — месторождения, создающие сложные комплексные аномалии. *а* — схема рудного поля, генетически связанного с мезозойским гранитным интрузивом, частично обнажающимся (мелкие крестики) и скрытым (крупные крестики) в толще вулканогенно-осадочных пород палеозоя на контакте с палеозойскими диоритами (косые крестики). Геофизические аномалии — пунктир точечный и двойной; геохимические аномалии — сплошные линии с индексом элемента, пунктир с точкой — разрывные нарушения. *б* — разрез по линии, указанной в позиции *а*

Наличие отчетливых аномалий (минералогических или геохимических, а нередко тех и других одновременно) позволяет использовать минералогические (шлиховые) и литогеохимические, гидрогеохимические, а иногда и атмогеохимические методы поисков. Выявленные этими методами аномалии представляют собой объект для сосредоточения поисковых работ всех видов на конкретных участках, ограничивая тем самым объем горно-буровых работ.

Пример 1. Применение системы детальных поисковых работ для обнаружения и оценки прибрежно-морских россыпей, погребенных в осадочном чехле Западно-Сибирской плиты и Русской плиты. Сопоставление данных, приведенных в ряде работ [28, 42, 56 и др.] для Украины, Восточного Притиманья и Западной Сибири, позволяет наметить для выявления погребенных россыпей следующую методику поисковых работ. Вначале поиски предусматривают проведение ревизионных (опробовательских) работ, а именно — минералогический анализ шлихов, отмытых из обнажений или из керна скважин различного назначения (опорных, нефтепоисковых, гидрогеологических, специальных поисковых). Целью этих работ является обнаружение продуктивных горизонтов или свит в разрезе осадочных отложений, т.е. выявление минералогических аномалий, характеризующихся повышенными концентрациями полезных компонентов по сравнению с фоном минералогического нормального поля (рис. 74, *в*, *II*). Затем производят оконтуривание аномалий с промышленными значениями содержаний полезных минералов в пределах продуктивных горизонтов или свит. Эти поиски ведут путем бурения скважин по определенной сети до пересечения пород, подстилающих продуктивные отложения, а также шлиховым опробованием пробуренных отложений. На основе детальных поисковых работ выделяют площади с наиболее богатыми по содержанию рудоносными песками, которые в дальнейшем передают в разведку.

В данном примере главными методами поисков служили шлиховой и буровой; применение геофизических методов, даже как вспомогательных, здесь не потребовались.

Пример 2 касается объектов, выявление которых требует использования как главного метода поисков — литогеохимического, вспомогательного — одного из геофизических методов. К таким объектам относятся низкотемпературные месторождения свинцово-цинковых руд в карбонатных породах. Они создают отчетливые геохимические аномалии, которые могут быть выявлены даже на стадии региональной геологической съемки. Но значительные размеры таких аномалий или большое их количество в пределах определенной площади не всегда приводят при бурении к быстрому открытию рудных залежей прожилково-вкрапленных руд. Для локализации буровых работ только на перспективных аномалиях требуется применение метода ВП. Так, было обнаружено одно свинцово-цинковое месторождение в Казахстане. При проведении региональной геологической съемки, сопровождавшейся литогеохимическим опробованием рыхлых отложений, была выявлена аномалия свинца и цинка. Однако бурение первых скважин в эпицентре аномалии установило лишь наличие непромышленной сульфидной вкрапленности в карбонатных породах. Последующая постановка метода ВП на геохимической аномалии уточнила возможное положение промышленных руд, которые были выявлены при бурении несколько в стороне от эпицентра геохимической аномалии.

III группа включает месторождения, создающие отчетливые геологические и геофизические (простые) аномалии, которые можно выявить одним из геофизических методов. К этой группе относятся

месторождения магнетитовых руд, хромитов, урана, бора, барита, каменных углей, иногда бурых углей.

Система поисковых работ для выявления подобных месторождений: главный комплекс методов — геологические, один из геофизических методов, горно-буровые; вспомогательные методы — другие геофизические методы, геохимические, минералогические. Скопления многих полезных ископаемых этой группы являются весьма благоприятным объектом для поисков, так как позволяют в первый период поисковых работ сосредоточить внимание на геофизической аномалии, которая выявляется одним из геофизических методов. Это облегчает весь процесс поисковых работ и увеличивает их эффективность. К сожалению, в природе очень мало таких объектов, которые создают отчетливые простые геофизические аномалии. Даже среди выше указанных полезных ископаемых не все имеют такие характеристики, что требует и здесь использования вспомогательных методов поисков.

Пример 1. Месторождения магнетитовых руд, выявляемые на основе обнаружения магнитных аномалий высокой интенсивности, контуры которых позволяют сосредоточить поисковое бурение на локальных участках (см. рис. 74). Наличие отчетливых магнитных аномалий в условиях слабого магнитного поля вмещающих пород благоприятствовало открытию крупных магнетитовых месторождений Кустанайского и Ампалыкского районов, погребенных в палеозойском фундаменте Тургайского прогиба и Западно-Сибирской плиты. Главными методами системы поисковых работ в данном случае являлись аэромагнитная и наземная магнитная съемки и бурение. В условиях неблагоприятного магнитного поля вмещающих пород, характеризующихся высокой магнитной восприимчивостью, возникают осложнения при выделении и интерпретации магнитных аномалий и требуется применение вспомогательного комплекса геофизических методов.

Пример 2. Месторождения хромитовых руд. По данным С. Д. Миллера и А. П. Соловова, хромитовые руды Кимперсайского гипербазитового массива на Южном Урале характеризуются избыточной плотностью по сравнению с вмещающими породами массива и создают аномалии силы тяжести, что, несмотря на заметный уровень помех, позволяет отчетливо выделять залежи на глубине в несколько десятков метров. По данным В. В. Бродового и др., использование и в последующий период гравиметрического метода поисков позволило в данном районе выявить залежи хромитовых руд, погребенные под мезо-кайнозойскими отложениями, и слепые залежи в массиве гипербазитов.

Пример 3. Объекты, для которых отчетливые геофизические аномалии создаются структурами, вмещающими месторождения. К таким объектам относятся буроугольные залежи Подмосковного бассейна, приуроченные к впадинам в погребенной поверхности турнейских известняков чехла Русской плиты. Эти впадины создают отчетливые электрометрические аномалии, которые можно выявить и оконтурить с помощью ВЭЗ. По данным В. С. Огаркова [121], здесь намечается следующая методика поисковых работ: на первой стадии проводятся поиски структур, благоприятных для промышленной угленосности, т. е. геологических или структурных аномалий; на второй стадии — детальные поиски углей на выявленных структурах путем бурения скважин по равномерной квадратной или прямоугольной сети.

IV группа включает месторождения, создающие отчетливые сложные геофизические аномалии, выявление которых требует применения нескольких геофизических методов. К ним относятся

месторождения бокситов, богатых железных руд КМА (см. рис. 74, *IV*). Система поисковых работ: главные методы поисков — комплекс геофизических методов, геологические, горно-буровые методы; вспомогательные — минералогические и геохимические методы.

П р и м е р 1. Амангельдинская группа месторождений бокситов в Казахстане, приуроченных к небольшим впадинам — депрессиям озерного или долинного типа на платообразных поднятиях палеозойского складчатого основания и погребенных под покровом мезо-кайнозойских отложений. Методика поисков этих месторождений будет рассмотрена по данным С. П. Бабаянца и Г. Н. Заварзина [12].

На первой стадии предварительных поисков проводится геолого-геофизическая съемка масштаба 1 : 200 000, при которой производится ВЭЗ по сети 2000 × 500 м и 4000 × 1000 м, профильная магнитная съемка по сети 2000 × 100 м и гравиметрическая съемка по сети 2000 × 1000 м или 4000 × 1000 м. Геофизические исследования сопровождаются геологическими маршрутами и небольшим объемом структурно-картировочного бурения. На площадях сложного тектонического строения палеозойских отложений выполняется съемка масштаба 1 : 50 000, сопровождаемая симметричным электропрофилированием с двухгоризонтальной установкой по сети 500 × 100—50 м и магнитометрической съемкой по сети 500 × 50 м. С помощью магнитометрии удается картировать фундамент депрессий, выделять массивы изверженных пород и обнаруживать крупные бокситовые тела, представленные каменистыми разностями, обладающие повышенной магнитной восприимчивостью.

Стадия детальных поисков осуществляется на перспективных площадях, выделенных при съемке масштаба 1 : 200 000 и 1 : 50 000. Поиски бокситоносных депрессий, приуроченных к областям контактов алюмосиликатных и карбонатных пород, проводятся методом ВЭЗ по сети 500 × 100 м или 200 × 200 м; максимальные разносы линии *АВ* зависят от глубины залегания фундамента. На площадях депрессий, оконтуренных ВЭЗ для непосредственных поисков бокситорудных тел, проводится детальная магнитная съемка по сети 50 × 20 или 40 × 40 м. Как отмечают С. П. Бабаянц и Г. Н. Заварзин, интенсивность магнитных аномалий находится в прямой зависимости от глубины залегания и размеров рудного тела. Наиболее интенсивная аномалия на Амангельдинских месторождениях не превышает 250 гамм. Она вызвана рудным телом (средняя мощность 15 м), залегающим на глубине 1 м. Бокситорудное тело мощностью 10—20 м, расположенное на глубине 65—70 м, создало аномалию в 15—20 гамм. Учитывая весьма незначительную интенсивность большинства магнитных аномалий, детальную магнитную съемку рекомендуется проводить с повышенной точностью — до ±3 ÷ ÷ 4 гамм.

V группа включает месторождения, создающие отчетливые комплексные геологические, минералогические, геохимические и геофизические аномалии. К этой группе могут быть отнесены погребенные аллювиальные россыпи золота, касситерита; эндогенные месторождения никеля, меди, свинца и цинка, олова, вольфрама, молибдена, бериллия, ниобия, тантала, редких земель, благородных металлов (золота, серебра, платины). Поиски месторождений этой группы осуществляются наиболее полным комплексом методов, который значительно повышает стоимость поисковых работ. Вместе с тем применение этого комплекса позволяет выявлять сложные аномалии, на которых и сосредоточивают горно-буровые работы, что обеспечивает сокращение их

объема и стоимости. Таким образом, общая стоимость поисков месторождений данной группы может быть выше, чем месторождений II, III и IV групп, но в несколько раз меньше, чем для месторождений I группы.

В общем комплексе поисковых методов, применяемых для выявления месторождений V группы, значение каждого метода неодинаково. Применительно к тому или иному типу месторождений необходимо разрабатывать свой рациональный комплекс методов, ориентируясь на характер тех аномалий, которые могут быть созданы ожидаемым объектом. Рассмотрим некоторые примеры систем поисковых работ, которые применяются при детальных поисках месторождений данной группы.

Пример 1 касается опыта применения сложного комплекса геохимических и геофизических методов, сопровождаемых геологическими и минералогическими методами, а также бурением, для поисков скрытых меднопорфировых месторождений в Алмалыкском районе (Вольфсон, Гарьковец и Хваловский [35]).

На значительной площади так называемого северного структурного блока здесь расположен интрузив сиенитов верхнекаменноугольного возраста, содержащий ксенолиты известняков и кварцевых порфиров девона и карбона. Вблизи ксенолитов сиениты прорваны штоками нижнепермских гранодиорит-порфиров, с которыми связано постмагматическое медное оруденение. Характер магнитных полей над штоками гранодиорит-порфиров различен и зависит от ряда факторов, в том числе от гидротермального изменения самих гранодиорит-порфиров. Магнитные аномалии в пределах ореолов измененных пород бывают связаны не только с участками неизмененных гранодиорит-порфиров, но и с зонами магнетито-медной минерализации, содержащими до 10% магнетита и характеризующимися высокими значениями ΔZa (до 10—15 тыс. гамм). Штоки гранодиорит-порфиров выделяются аномалиями, по амплитуде не превышающими 300 гамм и связанными с наличием в этих породах акцессорного магнетита (до 3%). Медная минерализация приурочена обычно к периферическим частям таких штоков, в то время как в зонах магнетито-медной минерализации она совпадает с магнитными аномалиями. Ввиду отмеченных особенностей возникла необходимость дополнить магнитометрическую съемку каппаметрической и геохимической, а также исследованиями по методу ВП, который позволяет обнаружить скрытые рудные тела прожилково-вкрапленного типа.

Пример 2 иллюстрирует приемы и последовательность изучения объекта поисков с точки зрения характера создаваемых им аномалий и необходимости применения сложного комплекса методов поисков в том случае, если эти аномалии оказываются типичными для месторождений V группы.

При поисках медноколчеданных месторождений Урала до начала 50-х годов нашего столетия широко применялись только электрометрические методы, среди которых ведущее положение занимал метод изолиний. Однако применение этого метода не всегда приводило к открытию месторождений. По данным Г. П. Саковцева [160], из 10 200 аномалий проводимости, выявленных этим методом на Урале, только 90, т. е. около 1%, оказались рудными. К тому же глубинность метода не превышала 40—75 м. По мнению П. Ф. Родионова, это было обусловлено высоким уровнем естественных помех, вызываемых неоднородностью вмещающих толщ и экранирующим влиянием низкоомных покровных отложений.

Задача выявления слепых и погребенных медноколчеданных месторождений, характеризующихся в таких условиях сложными аномалиями, потребовала существенного изменения комплекса электрометрических методов. Были разработаны и внедрены более глубинные и относительно лучше защищенные от помех методы, такие, как низкочастотные индуктивные методы незаземленной

петли и переходных процессов, а также метод ВП, существенно заменивший различные модификации метода сопротивлений. Дальнейшее изучение объекта поисков и стремление к повышению эффективности применения комплекса поисковых методов привело к широкому использованию наряду с геофизическими методами геохимических методов [63, 71, 199]. В результате применения комплексных исследований на Южном Урале открыт ряд новых медноколчеданных месторождений и рудных тел.

Пример 3 относится к штокверковым постмагматическим месторождениям олова, вольфрама, молибдена и некоторых других элементов, связанных с лейкократовыми и аляскитовыми гранитами и характеризующихся сложными комплексными минералогическими, геохимическими и геофизическими аномалиями (см. рис. 74, *V*).

При поисках подобных месторождений, выходивших на поверхность, достаточно было использовать главным образом геологические и минералогические (шлиховые) методы, хотя это позволяло выявлять только часть всего комплекса аномалий, создаваемых данным объектом. Но и это обеспечивало ведение эффективных поисков. Однако как только перешли к поискам скрытых месторождений или скрытых продолжений месторождений, потребовалось использование всего сложного комплекса аномалий — минералогических, геохимических и геофизических. Это в свою очередь вызвало необходимость применения широкого комплекса поисковых методов: шлихового и протолочно-шлихового, литогеохимического по рыхлым и коренным породам, геофизических — магнитометрического, гравиметрического, электрометрического. В результате были выявлены объекты, скрытые на определенной глубине от поверхности. Опыт таких работ описан И. П. Беневоленским [16] и другими исследователями Центрального Казахстана, Забайкалья [84] и прочих районов.

Рассмотренные примеры систем детальных поисков применительно к выделенным пяти группам месторождений по характеру создаваемых ими геологических, минералогических, геохимических и геофизических аномалий намечают лишь принципы, на основе которых должны разрабатываться проекты и осуществляться детальные поисковые работы.

Общие и детальные поисковые работы финансируются за счет отраслевых средств и поэтому всегда направлены на выявление определенных видов полезных ископаемых. Это в свою очередь требует учета особенностей месторождений выделенных пяти групп. Каждая система поисковых работ, указанная для этих групп месторождений, выработана многолетним опытом одного или нескольких геологических коллективов, сосредоточивших поисковые работы в районах, имеющих определенное тектоническое положение и определенный тип месторождений полезных ископаемых. Применение этих систем повысило эффективность поисков во многих районах и позволило выявить в их пределах не только месторождения, выходящие на поверхность земли, но и скрытые месторождения. Однако необходимо дальнейшее усовершенствование каждой из рассмотренных систем путем применения новых экспериментальных методов поисков, а также более полного использования теоретических предпосылок, разработанных для обоснования поисков определенных промышленных типов месторождений.

МЕТОДИКА ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ

Поисково-оценочные работы являются завершающей подстадией поисковых работ, которая имеет черты поисков и разведки месторождений полезных ископаемых [55].

Основная задача поисково-оценочных работ заключается в перспективной оценке проявлений полезных ископаемых или аномалий различного типа с целью выявления объектов, заслуживающих постановки предварительной разведки, с определением прогнозных запасов и частично запасов категории C_2.

Для решения этой задачи используется комплекс геологических, минералогических, геохимических и геофизических методов, результаты которых оформляются на геологических и прогнозных картах масштабов 1 : 10 000—1 : 2000. Ведущее значение при поисково-оценочных работах приобретают горно-буровые методы, которые позволяют подтвердить или отвергнуть первоначальный прогноз и оценить качественные и количественные показатели полезного ископаемого. Этим определяется необходимость рассмотрения следующих вопросов: систем поисково-оценочных работ, рациональной сети пересечений, опробования полезных ископаемых и вмещающих их пород, рационального комплекса дополнительных методов сопровождающих горно-буровые методы (геологическая съемка, минералогические, геохимические, геофизические).

Системы поисково-оценочных работ могут представлять собой:

— совокупность горных выработок (канав, траншей, шурфов, дудок);

— совокупность буровых скважин;

— сочетание горных выработок и буровых скважин.

Каждая горная выработка или скважина представляет собой *поисково-оценочное пересечение*.

В зависимости от геологических условий применяются разные системы поисково-оценочных пересечений:

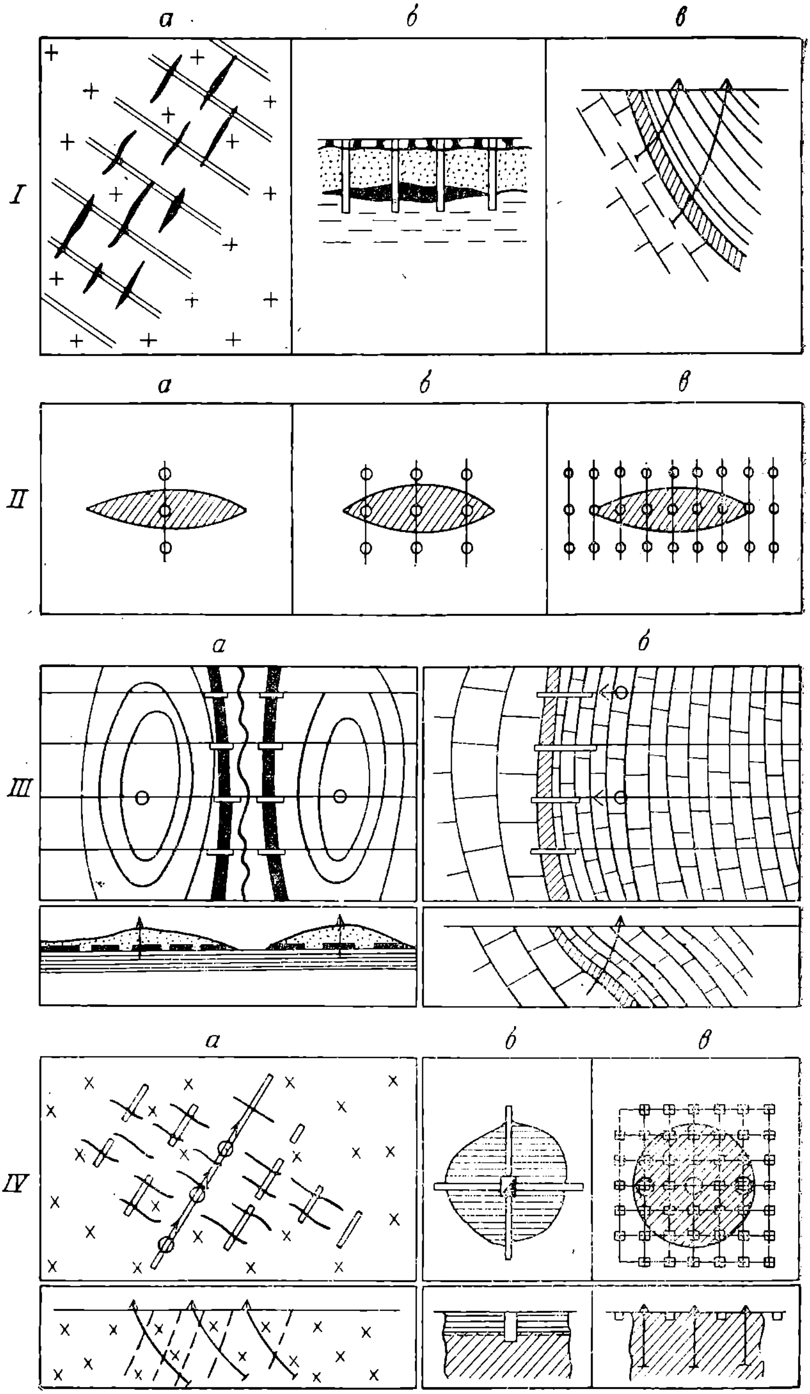
— система горизонтальных пересечений, осуществляемых канавами или траншеями, в более редких случаях штольнями (рис. 75, *I*, *а*);

— система вертикальных пересечений, осуществляемых вертикальными горными выработками — шурфами, дудками, в более редких случаях неглубокими шахтами (рис. 75, *I*, *б*);

— система вертикальных пересечений, осуществляемых буровыми скважинами — вертикальными или наклонными (рис. 75, *I*, *в*);

— система комбинирования горизонтальных и вертикальных пересечений (горных выработок и скважин).

Параметры сети поисково-оценочных пересечений определяется рядом факторов: формой и размерами ожидаемых объек-


а
б
в
I
а
б
в
II
а
б
III
а
б
в
IV

тов, распределением полезных компонентов в телах полезных ископаемых, условиями залегания объектов (пологозалегающие, крутопадающие, выходящие на поверхность, скрытые — погребенные или слепые). Параметры сети поисково-оценочных пересечений представляют собой среднее между параметрами сети детальных поисков и сети предварительной разведки (рис. 75, *II*). Поэтому можно ориентироваться на параметры сети предварительной разведки с соответствующим ее разрежением. Параметры разведочной сети для месторождений определенных видов полезных ископаемых указываются в инструкциях по применению классификации запасов. Сеть поисково-оценочных пересечений рекомендуется проектировать с расчетом возможного ее использования и развития на стадии предварительной и детальной разведки.

Для целей поисково-оценочных работ можно использовать группировку проявлений полезных ископаемых, приведенных в табл. 25. В ней определяющими факторами являются: морфология проявлений полезных ископаемых и условия их залегания; форма тел полезных ископаемых в горизонтальном срезе; распределение основных компонентов (минералов или элементов) в телах полезных ископаемых (непрерывное сплошное, прерывистое (вкрапленное и прожилковое). Группировка объединяет проявления различных видов твердых полезных ископаемых: металлических (коренных и россыпных), неметаллических и горючих. Для каждой из выделенных групп могут быть намечены определенные системы поисково-оценочных работ, что не исключает индивидуального подхода к проявлениям различных видов полезных ископаемых. Эти системы представляют собой лишь общий план проведения подобных работ.

Рассмотрим принципиальные системы поисково-оценочных работ для выделенных групп проявлений полезных ископаемых.

1-я группа характеризуется тем, что проявления полезных ископаемых могут выходить на поверхность земли только в долинах рек, но в значительной же части они являются скрытыми (погребенными или слепыми). Главный тип поисково-оценочных пересечений — вертикальные шурфы или скважины, сеть пересечений — квадратная или прямоугольная. Глубина пересечений определяется глубиной залегания верхней кромки ожидаемого объекта. В зависимости от характера распределения полезных

Рис. 75. Схемы методики поисково-оценочных работ.

I — системы поисково-оценочных пересечений, применяемых в различных геологических условиях: *а* — система горизонтальных пересечений канавами; *б* — система вертикальных пересечений шурфами; *в* — система вертикальных пересечений скважинами. *II* — сопоставление сети поисково-оценочных пересечений (*б*) с детальными поисками (*а*) и предварительной разведкой (*в*).

III и *IV* — схемы систем поисково-оценочных работ на проявлениях полезных ископаемых (в плане и на разрезе): *III* — *а* — пластовых, горизонтально залегающих, *б* — пластовых наклонно залегающих; *IV* — *а* — жильных крутопадающих, *б* — штокообразных трубообразных крутопадающих, с развитой зоной окисления; *IV* — *в* — штокверковых крутопадающих

Группировка проявлений твердых полезных ископаемых по

Группа проявлений	Морфология проявлений полезных ископаемых и условия их залегания	Форма тел полезных ископаемых в горизонтальном срезе	Рас
			экзогенные
			Непрерывное
1	Пластовые, пластообразные и плащеобразные тела горизонтально- или пологозалегающие	Изометрическая, эллиптическая, реже линейная	Уголь, горючие сланцы, фосфориты, бокситы, строительные материалы; руды железа, марганца
2	Пластовые, пластообразные и линзообразные тела наклонно залегающие и крутопадающие	Линейная, иногда эллиптическая	Уголь, горючие сланцы, соли, фосфориты, бокситы, руды железа и марганца
3	Жильные тела и рудные зоны наклонно залегающие и крутопадающие	Линейная	
4	Штокообразные тела и массивы крутопадающие, реже наклонно залегающие	Изометрическая, эллиптическая	Соли
5	Трубкообразные и гнездообразные тела со сложными условиями залегания	Изометрическая, эллиптическая	Магнезиты (кора)

компонентов и генезиса полезного ископаемого намечаются определенные особенности проведения поисково-оценочных работ.

Пример 1. Бурые угли, выходящие на поверхность земли по долинам рек, вскрывают канавами [91]. Погребенные продолжения залежей углей, имеющие сложные изометрические контуры в плане, выявляют и оценивают с помощью вертикальных скважин (см. рис. 75, *III*, *а*). На глубоко погребенных залежах углей Подмосковного бассейна сеть поисково-оценочных скважин квадратная с расстоянием между скважинами 1000 × 1000 м [121] при площади угольных залежей от нескольких квадратных километров до 100—150 км^2.

Пример 2. Залежи богатых железных руд КМА плащеобразной формы залегают на значительной глубине от поверхности земли (от 50 до 500 м и более). Поисково-оценочные работы ведутся бурением вертикальных скважин на комплексных геофизических аномалиях, проверенных на подстадии детальных поисков единичными скважинами.

Представители 1-й группы проявлений полезных ископаемых с прерывистым распределением полезных компонентов могут быть экзогенными и эндогенными по генезису. К экзогенным относятся прежде всего россыпи тяжелых минералов различных типов.

Таблица 25

ожидаемым форме тел и распределению основных компонентов

пределение основных компонентов в телах полезных ископаемых		
эндогенные	экзогенные	эндогенные
(сплошное)	Прерывистое (вкрапленное), прожилковое, гнездовое	
	Россыпи тяжелых минералов, силикатно-никелевые руды	Медно-никелевые руды в интрузивах базитов; ниобиевые руды в горизонтах лопаритов, луявритов в интрузивах нефелиновых сиенитов
Медноколчеданные руды; железные руды в метаморфических кварцитах		Низкотемпературные проявления меди (медистые песчаники) свинца и цинка в карбонатных породах
Барит, сидерит, кварц (для плавки)		Золото, олово, вольфрам, молибден, литий, бериллий, тантал, свинец, цинк, медь
Граниты, габбро, сиениты и другие изверженные породы как строительные материалы		Меднопорфировые, оловянные, вольфрамовые и молибденовые штокверки, карбонатиты с редкими металлами, алмазоносные кимберлиты
Хромиты, платина	Силикатно-никелевые руды	Свинец, цинк в карбонатных породах, пьезосырье в камерных пегматитах (кварц) или в базальтовых лавах (кальцит)

Пример 3. Россыпи тяжелых минералов аллювиальные, имеют в плане линейную форму (ленточную). Поисково-оценочные работы ведутся вертикальными пересечениями, которые осуществляются шурфами или скважинами. Профили поисково-оценочных пересечений ориентированы вкрест простирания долин, расстояния между профилями от 200 до 1600 м в зависимости от размеров долины. Расстояния между отдельными пересечениями колеблются от 10 до 40 м, что вызвано необходимостью выявления промышленных содержаний тяжелых минералов в толще рыхлых отложений с весьма прерывистым их распределением.

Прибрежно-морские россыпи в современных отложениях оценивают также с помощью вертикальных пересечений — шурфов в пляжевой зоне и скважин в шельфовой зоне побережья. Сеть поисково-оценочных работ определяется конкретными условиями.

Древние погребенные прибрежно-морские россыпи выявляют и оконтуривают системой вертикальных скважин по прямоугольной сети, параметры которой определяются размерами минерало-

гической аномалии, выявленной первыми скважинами на стадии детальных поисков.

Пример 4. Залежи силикатно-никелевых руд расположены в коре выветривания гипербазитовых массивов. Выходящие на поверхность земли такие объекты подвергаются поисково-оценочным работам с помощью шурфов или неглубоких скважин; погребенные объекты — с помощью более глубоких скважин по сети от 320 × 320 м до 80 × 80 м, как это было, например, на Липовеньковском месторождении. Буровые скважины в данном случае располагались в пределах магнитной аномалии, которая фиксировала положение массива гипербазитов.

Пример 5. Залежи медно-никелевых руд в габбро-диабазах Норильского района. Массивы этих пород имеют в плане изометрическую или эллиптическую форму и характеризуются наличием прерывистого оруденения. Выходящее на поверхность земли Норильское месторождение подвергалось предварительной оценке с помощью поверхностных горных выработок и вертикальных скважин.

Скрытый рудоносный Талнахский интрузив был выявлен вертикальными скважинами, глубина которых колебалась от 10 до 400 м и более. Поисково-оценочные скважины располагались по сети 600 × 400 м и по более редкой сети.

2-ая группа пластовых, пластообразных и линзообразных проявлений полезных ископаемых отличается от 1-ой группы наклонным или крутым падением тел, что обусловливает линейную, иногда эллиптическую форму тел в плане. На проявлениях с непрерывным (сплошным) распределением полезных компонентов поисково-оценочные работы выполняют вначале на поверхности земли путем проходки канав вкрест простирания выходов с расстояниями между ними от 25 до 100 м; одновременно проводится геологическая съемка в масштабе 1 : 25 000—1 : 5000, если необходимо, с геофизическими исследованиями. Затем после получения данных по поверхностным пересечениям осуществляют глубокие пересечения буровыми скважинами с висячего бока пласта (залежи) вертикальными скважинами при крутом падении пластов (рис. 75, *III*, *б*). Расстояния между профилями скважин от 500 до 1000 м для углей, от 200 до 400 м — для других полезных ископаемых. Глубина бурения от 50—100 до 100—200 м.

На проявлениях полезных ископаемых с прерывистым распределением полезных компонентов перед закладкой первых поисково-оценочных пересечений необходимо применять методы, позволяющие оконтурить участки с различной концентрацией полезных компонентов. Например, на проявлениях медистых песчаников должна быть выполнена литогеохимическая съемка по более плотной сети профилей, чем при детальных поисках. Имея карту геохимических ореолов рассеяния меди и ее спутников, можно проводить канавы вкрест простирания продуктивных пластов в эпицентрах геохимических ореолов со средним расстоянием между канавами 50—100 м, уменьшая его до 25—10 м. Глубокие пересечения создаются скважинами, которые бурят на горизонты 50—100 м. Расстояния между буровыми профилями от 200 до 800 м.

3-я группа, включающая жильные тела и рудные зоны обычно крутопадающие и реже наклонно залегающие, отличается от предыдущей более сложной формой тел и часто более прерывистым распределением полезных компонентов, а также сближенным расположением параллельных тел полезных ископаемых. Последовательность выполнения отдельных видов поисково-оценочных работ здесь намечается по такой схеме:

— геологическая съемка масштабов 1 : 10 000 или 1 : 5000, сопровождаемая геофизическими и геохимическими методами для наиболее полного выявления всех возможных аномалий, которые могут быть связаны с жильными телами или тектоническими зонами разрывных нарушений (методом ИЖ, радиокип и др.);

— проходка канав — магистральных и коротких — с расстоянием между ними от 10—25 до 100 м. Количество магистральных канав должно быть минимальным и вместе с тем достаточным для получения надежных разрезов вмещающих пород и достоверного пересечения основных жильных тел;

— глубокие пересечения могут достигаться несколькими скважинами глубиной 50—100 м, которые задают в висячем боку жил или жильных свит и зон (рис. 75, *IV*, *а*).

Таким образом, поисково-оценочные работы на проявлениях 3-й группы осуществляются комбинированной системой, сочетающей применение горизонтальных и вертикальных пересечений.

4-я группа проявлений полезных ископаемых характеризуется штокообразной формой крутопадающих тел или массивами такой же формы и падения.

Рассмотрим методику поисково-оценочных работ для проявлений с прерывистым распределением полезных компонентов как наиболее сложных объектов этой группы. К ним относятся проявления меднопорфирового типа, штокверки оловянных, вольфрамовых, молибденовых и золотых руд, карбонатитовые тела с редкометальным оруденением, алмазоносные кимберлиты.

Схема поисково-оценочных работ на этих объектах намечается в следующем виде:

— изучение поверхности неглубокими (1,5—2,5 м) шурфами по сети 40 × 40 м, 50 × 50 м или 100 × 100 м, сопровождаемое геологической съемкой масштаба 1 : 5000 или 1 : 2000 (иногда 1 : 1000);

— минералогическое (шлиховое) или геохимическое (литогеохимическое) опробование коренных пород во всех шурфах. Составление карт эндогенных ореолов рассеяния полезных минералов или элементов;

— глубокие поисково-оценочные пересечения, осуществляемые вертикальными колонковыми скважинами на глубину 100—200 м. Скважины бурятся только на участках некоторых максимумов и минимумов ореолов рассеяния в узлах общей поисково-оценочной сети, ранее использованной при проходке шурфов, с минимальным расстоянием между скважинами — не более 200—

400 м (рис. 75, *IV*, *в*). В некоторых случаях могут буриться наклонные скважины для предварительного оконтуривания штокообразных тел на глубине.

5-я группа проявлений полезных ископаемых включает трубкообразные и гнездообразные тела со сложными условиями залегания отдельных тел. Проявления с непрерывным (сплошным) распределением полезных компонентов представлены, например, залежами магнезитов в коре выветривания, залежами хромитовых руд в массивах перидотитов. Выходящие на поверхность тела изучают горизонтальными поисково-оценочными пересечениями в виде канав, расположенных крестом (рис. 75, *IV*, *б*). Скрытые тела выявляют и предварительно оконтуривают скважинами по данным геофизических аномалий.

Проявления с прерывистым распределением полезных компонентов представлены рудами свинца и цинка в карбонатных породах, пьезооптическим сырьем в пегматитах камерного типа (кварц) или в гнездах с кальцитом в базальтоидных лавах и др. Поисково-оценочные работы на проявлениях данного типа особенно близки к стадиям разведки, а иногда и эксплуатации. Выходящие на поверхность тела вскрывают поверхностными горными выработками (канавами, небольшими карьерами), скрытые на глубине выявляются — буровыми скважинами, как, например, на пегматитовом поле с пьезокварцевыми проявлениями. Поисково-оценочные работы на проявлениях свинцово-цинковых руд нередко осуществляются путем сочетания буровых скважин и подземных горных выработок.

Как отмечено выше, поисково-оценочные работы сопровождаются опробованием полезных ископаемых, на основе которого решаются вопросы о содержании основных компонентов в проявлениях.

Глава 8

ОПРОБОВАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПРИ ПОИСКАХ И ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТАХ

Проявления полезных ископаемых, выявляемые при поисках и поисково-оценочных работах в коренных обнажениях, свалах глыб и обломков элювия, искусственных обнажениях (канавах, шурфах, скважинах), должны быть опробованы для определения в них содержаний полезных компонентов или установления качественной характеристики полезных ископаемых.

Опробование проявлений полезных ископаемых занимает определенное место в общем цикле различных видов опробования, которые осуществляются в процессе поисков и поисково-оценочных работ.

Виды опробования, используемые при поисковых и поисково-оценочных работах

I. Массовое опробование геологических образований для целей поисков полезных ископаемых (методы поисков)

Геохимическое опробование:
- литогеохимическое
- гидрогеохимическое
- биогеохимическое
- атмогеохимическое

Минералогическое опробование:
- валунно-ледниковое
- обломочно-речное

Шлиховое

Радиометрическое опробование

Ядернофизическое опробование

II. Опробование проявлений полезных ископаемых для их перспективной оценки (способы опробования)

Химическое опробование

Минералогическое опробование:
- макроскопическое
- *шлиховое*

Радиометрическое опробование

Ядернофизическое опробование

Техническое опробование

В приведенной выше группировке видов опробования курсивом выделены виды опробования, используемые как методы поисков и как способы опробования полезных ископаемых.

Рассмотрим краткую характеристику только II группы — опробование проявлений полезных ископаемых.

Прежде всего необходимо отметить, что условия ведения опробования проявлений полезных ископаемых при поисках и поисково-оценочных работах, в отличие от разведки, требуют использования наиболее простых, легких (по массе проб и оборудования) и портативных способов. Однако при этом опробование должно быть надежным для решения основных задач перспективной оценки проявлений полезных ископаемых.

Основными операциями опробования проявлений полезных ископаемых являются отбор, обработка и анализ проб, обработка результатов анализа, контроль.

Химическое опробование применяется для определения содержаний химических элементов, которые могут быть полезными (основными) компонентами или вредными примесями в полезном ископаемом. Анализы проб выполняют спектральными и химическими анализами.

Способы отбора химических проб при поисках и поисково-оценочных работах — штуфной, точечный и вычерпывания, бороздовый, задирковый.

Штуфной способ заключается в отборе отдельных штуфов-кусков, которые отбивают молотком из коренных пород или из свалов элювиально-делювиального материала, содержащих признаки полезных ископаемых. Масса штуфных проб колеблется от 1—2 до 5—10 кг.

Штуфной способ широко применяется при поисках, особенно предварительных, сопровождающих региональную геологическую съемку. Однако при использовании штуфного способа у геолога, ведущего опробование, появляется естественное желание отобрать в пробу наиболее богатые по содержанию полезных компонентов

штуфы. В результате этого происходит нарушение принципа равномерности и объективности пробоотбора. В связи с этим вместо штуфного способа пробоотбора, подверженного влиянию субъективных факторов, лучше применять точечный способ. Штуфной способ же можно применять как сугубо предварительный способ в тех случаях, когда сразу бывает трудно решить вопрос о выборе наиболее надежного способа пробоотбора. Это, например, касается опробования свалов перемещенных обломков делювиально-пролювиального происхождения.

Точечный способ предусматривает отбор тоже кусков-штуфов, но по определенной объективной системе — из узлов равномерной сети, которая намечается на участке опробования, или из отдельных точек, равно отстоящих друг от друга на профиле опробования. Разновидностью этого способа являются *способ вычерпывания*, при котором пробы отбираются из сыпучего материала рыхлых отложений. Для определения количества и массы частичных проб, которые отбираются из узлов равномерной сети, можно использовать данные Н. В. Барышева (табл. 26).

Таблица 26

Количество и масса частичных проб, отбираемых точечным способом и вычерпыванием

Характер распределения полезных компонентов	Число частичных проб	Масса частичных проб, кг	Суммарная масса общей пробы, кг
Весьма равномерный и равномерный	12—15	$\frac{0{,}08}{0{,}25}$	$\frac{1—1{,}3}{3—4}$
Неравномерный	20—25	$\frac{0{,}16}{0{,}5}$	$\frac{3—4}{10—12{,}5}$
Весьма и крайне неравномерный	35—50	$\frac{0{,}3}{1{,}0}$	$\frac{11—15}{36—50}$

Примечание. 1. В числителе приведены данные для точечного способа, в знаменателе — для способа вычерпывания.

2. Количество проб рассчитано на площадь около 4 м².

Бороздовый способ применяется при опробовании рудных жил, оруденелых зон и пластов полезных ископаемых в коренном залегании или в ненарушенном элювии. Бороздовые пробы можно отбивать с помощью молотка и зубила непосредственно на поверхности земли или в горных выработках. Борозда, имеющая размеры 10 × 2 см (ширина × глубина), ориентируется по мощности тела полезного ископаемого и по длине соответствует этой мощности. При значительной мощности тела отбивают несколько бороздовых проб. Маломощные жилы (менее 0,2 м) опробуются задирковыми пробами на глубину 1—2 см.

Расстояние между бороздовыми или задирковыми пробами по простиранию рудных жил, зон и пластов определяется в зави-

симости от ожидаемого типа распределения полезных компонентов в теле полезного ископаемого (табл. 27).

Таблица 27

Рекомендуемые расстояния между бороздовыми пробами
(по Н. В. Барышеву [13])

Группа месторождений (проявлений) полезных ископаемых	Характер распределения компонентов	Коэффициенты вариаций содержаний компонентов, %	Виды полезного ископаемого	Расстояния между пробами, м
I	Весьма равномерный	До 20	Угли, горючие сланцы, соли, цементное сырье, железо	50—15
II	Равномерный	20—40	Соли, сéра, глины, железо, марганец	15—4
III	Неравномерный	40—100	Свинец, цинк, медь, никель, вольфрам, олово, молибден	4—2,5
IV	Весьма неравномерный	100—150	Олово, вольфрам, молибден, золото, редкие и рассеянные элементы	2,5—1,5
V	Крайне неравномерный	150	Некоторые месторождения (проявления) золота, редких и рассеянных элементов	1,5—1,0

Расстояния между пробами, указанные в табл. 27, следует рассматривать как ориентировочные; их можно изменять в зависимости от конкретных условий.

Отбор проб из поисковых и поисково-оценочных скважин производится по керну или по шламу. В пробу отбирают половину керна или половину объема шлама. На проявлениях с маломощными телами полезных ископаемых пробы отбирают по секциям — по самому телу и по вмещающим породам с висячего и лежачего бока рудного тела. Где рудные тела имеют большую мощность (несколько метров или десятки метров) производят непрерывное опробование по полезному ископаемому. В пробу отбирают материал с пробуренных интервалов определенной длины (от 1—1,5 до 2—3 м, реже до 5 м).

Обработку проб производят по схеме, рассчитанной по формуле Г. О. Чечотта

$$Q = Kd^2,$$

где Q — масса сокращенной пробы, кг; K — коэффициент, зависящий от характера полезного ископаемого; d — диаметр наиболее

крупных частиц пробы, мм. Значения коэффициента K для различных полезных ископаемых приведены ниже.

Коэффициенты K в формуле $Q=Kd^2$ (по Н. В. Барышеву)

Характер распределения полезных компонентов	K
Весьма равномерное и равномерное (угли, железо, марганец, бокситы, соли)	0,05
Неравномерное (медь, свинец, цинк, никель, титан)	0,1
Весьма неравномерное (олово, вольфрам, молибден, золото и редкие металлы с мелкими выделениями полезных минералов)	0,2
Весьма неравномерное (золото и редкие металлы со средними выделениями полезных минералов (0,2—0,6 мм)	0,4
Крайне неравномерное (золото и редкие элементы) с крупными выделениями (более 0,6 мм) полезных минералов	0,8—1

На основе формулы Г. О. Чечотта составляют схемы обработки проб. Для анализа проб используют различные современные способы, приборы и методики [172].

Анализ химических проб производится в две стадии. Вначале все пробы подвергают спектральному анализу с целью выяснения общего набора элементов и содержаний полезных компонентов. Во вторую стадию выполняют химический или пробирный (для золота, серебра и платины) анализы только по тем пробам, в которых спектральным анализом были установлены наиболее высокие содержания полезных компонентов — не ниже промышленных содержаний. Например, для олова на химический анализ следует передавать те пробы, в которых установлено содержание от 0,05% олова и выше, для золота — свыше 2—4 г/т и т. д.

Минералогическое опробование широко применяется для определения содержания полезных и сопутствующих минералов в проявлениях россыпного типа, в меньшей степени этот вид опробования используется для определения содержаний минералов и элементов в коренных проявлениях полезных ископаемых.

В проявлениях россыпного типа применяется шлиховое опробование рыхлых отложений. При этом отбираются крупнообъемные пробы до 1 м^3 и более. Промывка таких проб производится в бутарах, вашгердах, винтовых сепараторах, отсадочных машинах. При отсутствии таковых можно использовать простые промывочные приборы из ящиков, снабженных грохотом. Анализ шлиховых проб выполняется примерно по той же схеме, что и обычных шлихов, отобранных при поисках.

Минералогическое опробование коренных проявлений полезных ископаемых предусматривает изучение и площадные измерения соотношений полезных минералов и минералов вмещающих. Для этой цели применяются сетчатые трафареты, размеченные в виде квадратной сетки, которая накладывается на изучаемый объект. Производится ориентировочный подсчет площадей, занятых полезным минералом, и определяется процентное соотношение по отношению к общей площади объекта. Зная площадь (в %), занимаемую полезным минералом, считают, что это соответствует

объемам. На основании этого определяют примерное содержание полезных компонентов, зная процентное содержание их в соответствующих минералах. Например, в кварцевой брекчии определено, что антимонит занимает около 25% всей измеряемой площади обнажения; содержание сурьмы в антимоните равно 71,69%, следовательно, в изучаемой руде содержание сурьмы может быть около 17,9%.

Ядернофизические методы опробования применяются также для определения содержания полезных компонентов, а иногда и некоторых соотношений их с другими компонентами, с помощью приборов. Определение может производиться без отбора проб или с отбором проб. Для этой цели применяют приборы «Боксит», «Нейтрон», «Бериллометр», «Минерал-3» и другие, более подробно описанные в главе 2 данного раздела.

Техническое и технологическое опробование на подстадии поисково-оценочных работ применяется для определения качества некоторых минералов или полезных ископаемых. К ним, например, относятся: пьезооптическое сырье (кварц, кальцит, флюорит), слюды (мусковит, флогопит), асбест, строительные материалы (облицовочные камни и др.). Проба для технического анализа или испытаний должна иметь соответствующую массу. В полевых условиях она подвергается общему осмотру с целью определения прозрачности (кварц, кальцит, флюорит), размера однородных блоков, листочков, волокнистости (асбест) и других физических свойств. Для строительных материалов определяются возможности использования по текстуре, цвету.

Применительно к рудным полезным ископаемым на стадии поисково-оценочных работ также необходимо общее изучение технологических свойств руд с целью определения степени их обогатимости. Для этого отбираются небольшие пробы массой 20—50—100 кг.

Результаты опробования оформляются в виде журналов, а также наносятся на графические документы: карты опробования, колонки по скважинам, графики по горным выработкам и т. д.

Количественные характеристики опробования принимаются в следующих единицах измерения: в процентах, в граммах на тонну, в граммах на кубический метр, в каратах на тонну, в каратах на кубический метр. В процентах определяются содержания большинства металлов, в граммах на тонну содержания благородных металлов, в граммах на кубический метр для россыпей, в каратах — для алмазов.

Опробование проявлений полезных ископаемых сопровождается документацией естественных обнажений, горных выработок и керна буровых скважин. Наиболее рационально вести документацию на перфокартах со специально разработанным кодом.

РАЗДЕЛ IV

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Глава 1

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ПРОЯВЛЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И АНОМАЛИЙ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

В результате поисковых работ обнаруживаются проявления полезных ископаемых и аномалии различного типа (минералогические, геохимические, геофизические). Количество их в исследуемом районе может быть различным — большим или малым, но в любом случае разобраться в них не просто, а еще труднее — определить их значение в отношении перспективности. Задача каждой стадии поисковых работ заключается в перспективной оценке каждого проявления полезного ископаемого и аномалии, а также в общей оценке всего их комплекса.

Перспективная оценка проявлений полезных ископаемых и аномалий производится на основании предпосылок и признаков поискового прогнозирования [184], а также количественных и качественных параметров.

Последовательность оценки проявлений полезных ископаемых и аномалий определяется стадией поисковых работ. На первой стадии, когда ведутся предварительные поиски, сопровождающие региональную геологическую съемку, производится обычно лишь общая обзорная оценка проявлений полезных ископаемых и аномалий с целью выделения среди них заслуживающих более детального изучения. Общие принципы такой оценки подобны тем, которые используются на следующей стадии — общих и детальных поисков до вскрытия проявлений полезных ископаемых горными выработками или скважинами, т. е. проведения поисково-оценочных работ. Этими работами завершается более подробная перспективная оценка проявлений полезных ископаемых с целью выделения среди них тех, которые заслуживают постановки разведочных работ.

Рассмотрим общие принципы перспективной оценки на стадии поисковых работ.

Принципы оценки проявлений полезных ископаемых и аномалий на подстадиях общих и детальных поисков

Проявления полезных ископаемых до вскрытия их поисково-оценочными пересечениями осматриваются и опробуются штуфным или точечным способами. Особенно тщательно изучается минеральный состав выхода полезного ископаемого на поверхность. Оценка его производится на основании тех принципов, которые были изложены ранее.

Оценка проявления полезного ископаемого по выходу позволяет предварительно решить вопрос о возможном генетическом или промышленном типе ожидаемого месторождения, его ориентировочных запасах и качестве полезного ископаемого. В итоге дается заключение о необходимости постановки поисково-оценочных работ или отбраковка проявления в число «точек минерализации».

Минералогические (шлиховые) аномалии могут быть установлены в аллювиальных или склоновых отложениях. Оценка их должна выполняться с двух позиций: определение возможного генетического типа коренного месторождения и его местоположения; решения вопроса о возможном наличии россыпей.

Выяснение этих вопросов производится путем сопоставления минерального состава шлихов по долинам речной сети и ее склонов, определения минералов спутников полезных минералов, возможных первоисточников, концентрации полезных ископаемых, областей сноса и т. д.

Геохимические аномалии, выявленные при общих и детальных поисках, могут быть связаны с рыхлыми четвертичными отложениями или с поверхностными водами (подземными), по которым ведется геохимическое опробование. Перспективная оценка таких аномалий должна начинаться с контрольного их осмотра и в случае необходимости сопровождаться дополнительным опробованием, чтобы исключить из дальнейшей оценки *ложные* геохимические аномалии, не имеющие непосредственной связи с природными объектами или имеющие такую связь, но весьма отдаленную, не поддающуюся выяснению.

Главными параметрами оценки геохимических аномалий и ореолов рассеяния являются:

— положение района в геохимической провинции; положительно оцениваются те аномалии, которые по элементному составу соответствуют геохимическому профилю данной провинции;

— потенциальная геохимическая специализация интрузивов и других геологических образований, с которыми можно связывать проявления полезных ископаемых;

— контрастность геохимических аномалий по отношению к кларкам и геохимическому фону. Высокая контрастность

аномалий, при которой концентрации полезных элементов в аномалиях в несколько раз или десятки раз превосходят кларки или фон, является положительным параметром оценки аномалии;

— соотношение геохимических и минералогических аномалий. Заслуживают первоочередной положительной оценки те геохимические аномалии, которые в том или ином виде подтверждены наличием минералогических аномалий;

— благоприятные предпосылки и признаки поискового прогнозирования. Совокупная оценка указанных параметров геохимических аномалий, установленных в исследуемом районе, должна быть сопоставлена с параметрами, геохимических ореолов рассеяния известных месторождений подобного типа.

Дальнейшая оценка геохимических аномалий производится путем сопоставления площадей их распространения, связи с геологическими образованиями, зональности распределения аномалий и элементов внутри аномалий.

Литогеохимические аномалии в рыхлых отложениях могут иметь различное положение в разрезе и в горизонтальной плоскости по отношению к первоисточнику. В связи с этим приобретает большое значение геоморфологический анализ и оценка. В некоторых случаях может использоваться количественная оценка геохимических аномалий в рыхлых отложениях по формулам А. П. Соловова [174]:

— определение продуктивности геохимического потока рассеяния производится по формуле

$$P_x = S_x (C'_x - C'_ф),$$

где C'_x — содержание в данной точке; $C'_ф$ — фоновое содержание в рыхлых отложениях аллювиального типа; S_x — площадь бассейна денудации (видимого водосбора) для данной точки русла в м^2;

— продуктивность экзогенной литогеохимической аномалии (при правильной сети опробования)

$$P = \Delta x l \left(\sum C_x - nC_ф\right),$$

где Δx — расстояние между точками отбора проб по профилю в м; l — расстояние между профилями в м; ΣC_x — арифметическая сумма содержаний элемента для всех точек в контуре $C_x \geqslant C_ф$ по данному профилю в %; $C_ф$ — местный геохимический фон, содержание в %; n — число точек, вошедших в подсчет.

По мнению А. П. Соловова, продуктивность геохимической аномалии (ореола) целесообразно выражать в тоннах металла (элемента) для слоя в 1 м (g): Р·1·2,5 (объемная масса пород), т. е. $g = P/40$ т/м.

Для подсчета запасов металла в геохимической аномалии можно использовать формулу

$$Q_n = K \cdot g \cdot H,$$

где H — глубина подсчета, K — коэффициент пропорциональности.

Гидрогеохимические аномалии имеют свои особенности в отношении оценки, которые заключаются в необходимости учета динамики поверхностных или подземных вод, определяющих форму и размеры таких аномалий, а также предполагаемое их положение по отношению к первоисточнику. Некоторые предложения по вопросам оценки гидрогеохимических аномалий содержатся в работе С. П. Албула [3].

Литогеохимические аномалии в коренных породах характеризуются следующими особенностями, которые влияют на их оценку: они первичны по отношению к вмещающим породам и, следовательно, более определенно фиксируют положение ожидаемых проявлений и месторождений полезных ископаемых; для них свойственна зональность в распределении главных и сопутствующих элементов.

Для интерпретации и оценки первичных геохимических аномалий эндогенного типа многими исследователями предложено большое количество методик, составной частью которых является использование различных коэффициентов, градиентов и т. п. параметров. Некоторые из них можно использовать при выполнении детальных поисковых и поисково-оценочных работ. К ним, например, относятся ряды зональности геохимических ореолов, позволяющие в определенной степени производить оценку глубины эрозионного среза прогнозируемого месторождения.

Л. Н. Овчинниковым, С. В. Григоряном и Э. Н. Барановым [120] разработан следующий обобщенный ряд зональности эндогенных геохимических ореолов сульфидных месторождений гидротермального типа (в направлении движения растворов — от подрудных сечений к надрудным): вольфрам — бериллий — олово (касситерит) — молибден — кобальт — никель — мышьяк (арсенопирит) — висмут — медь — олово (станнин) — цинк — свинец — серебро — медь (блеклая руда) — мышьяк (блеклая руда) — сурьма — барий — ртуть — иод.

Для одного из районов Рудного Алтая Г. И. Хориным, И. Ф. Мясниковым и др. вычислялись коэффициенты зональности, величина которых позволяет решать вопрос о положении ореола по отношению к рудному телу, скрытому на глубине:

$$K_з^1 = \frac{K_а^{Pb} + K_а^{Ba}}{K_а^{Cu} + K_а^{Co}} \quad \text{и} \quad K_з^2 = \frac{K_а^{Pb}}{K_а^{Cu}},$$

где $K_з$ — коэффициент зональности; $K_а$ — коэффициент аномальности ($K_а = C/C_ф$), здесь C — среднее геометрическое содержание элемента в аномалии, $C_ф$ — среднее содержание элемента — фон).

Величина коэффициента зональности проставлялась внутри контура литогеохимической аномалии стрелками разного цвета:

более 10 — малиновый, 2—10 — красный, 0,5—2,0 — синий, 0,1—0,5 — зеленый, менее 0,1 — желтый.

Для оценки и отбраковки аномалий определялись также коэффициенты минерализации ($K_м$) и нормированная условная продуктивность ($M_н$):

$$K_м = \frac{n_a}{n}, \quad M_н = \frac{\overline{C_i}}{C_ф} \cdot K_{м\ i},$$

где n_a — количество аномальных проб в аномалии; n — общее количество проб; $\overline{C_i}$ — среднее содержание элемента в контуре аномалии; $C_ф$ — фоновое содержание элемента.

Величина коэффициента минерализации обозначается цветом индекса химического элемента, который проставляется в контуре аномалии: 1,0—0,75 — красный; 0,75—0,50 — синий; 0,5—0,25 — зеленый; 0,25—0,1 — оранжевый. Нормированная условная продуктивность обозначается цифрой справа над индексом химического элемента. Порядок перечисления в аномалии — по ранжированному ряду коэффициента минерализации: например, $Ba^{100} — Cu^{50} — Sn^{10}$. Толщиной линии контура аномалии определяется суммарная условная продуктивность.

На основании сопоставления указанных параметров производится оценка геохимических аномалий. При этом перспективными считаются те из них, которые характеризуют надрудные сечения скрытых рудных тел. Опыт работы на Рудном Алтае, по данным Д. И. Горжевского, показывает, что в процессе такой оценки отбраковывается до 90% геохимических аномалий.

Геофизические аномалии должны интерпретироваться и оцениваться геофизиками и геологами совместно. Методика интерпретации и оценки геофизических аномалий может быть относительно простой или очень сложной. В одних случаях можно даже подсчитать запасы полезного ископаемого, в других — указать лишь на общий характер ожидаемого проявления или месторождения полезного ископаемого или структуры его вмещающей. В целом оценка геофизических аномалий всегда носит относительный характер, так как их возникновение обусловлено многими геологическими факторами.

Геофизические аномалии интерпретируются на основе сочетания математического и геологического анализа. Математическая интерпретация позволяет решать вопрос о глубине залегания верхней кромки тел полезных ископаемых или структур их вмещающих, объемов их, формы и т. д. Иногда математический анализ позволяет, как выше указано, определять прогнозные запасы полезного ископаемого. Так, на Соколовско-Сарбайских месторождениях магнетитовых руд по данным интерпретации магнитных аномалий по изодинаме +10 000 гамм по палеткам был произведен подсчет запасов железных руд, скрытых на глубине [67]. При подсчете запасов был введен коэффициент рудоносности, равный 0,5. При сопоставлении запасов, подсчитанных по гео-

физическим аномалиям и по данным произведенной в дальнейшем разведки, оказалось, что ошибка не превысила 16%: запасы по геофизическим данным составили 1750 млн. т; запасы по данным буровой разведки 2075 млн. т.

Оценка глубины залегания верхней кромки тел полезных ископаемых должна производиться с учетом влияния вмещающих пород (региональный геофизический фон — нормальное поле, локальный фон и т. д.). Например, если при интерпретации гравиметрической аномалии над слепым гранитным интрузивом не учесть влияния роговиков, которые по плотности часто соответствуют гранитам, то положение верхней кромки кровли интрузива может быть показано на прогнозных разрезах выше, чем это есть в действительности. В условиях вмещающих пород с повышенной магнитной восприимчивостью очень трудно оценить магнитные аномалии, связанные даже с магнетитовыми телами, особенно по данным аэромагнитной съемки. Поэтому приходится ориентировать при интерпретации аномалий на материалы наземной магнитной съемки.

Принципы оценки проявлений полезных ископаемых на подстадии поисково-оценочных работ

После вскрытия аномалий или проявлений полезных ископаемых горными выработками или буровыми скважинами на подстадии поисково-оценочных работ производится их разбраковка. Для дальнейшей оценки оставляются наиболее значительные проявления, в том числе и те, которые были установлены (вскрыты) на участках минералогических, геохимических или геофизических аномалий.

Оценка проявлений полезных ископаемых по данным вскрытия поисково-оценочными пересечениями производится по двум главным показателям: масштабу запасов и качеству полезного ископаемого. Запасы — это количество полезного ископаемого в недрах. По степени изученности и достоверности запасы твердых полезных ископаемых классифицируются следующим образом: категория А — запасы, полностью изученные и оконтуренные разведочными пересечениями; категория В — запасы, детально разведанные; категория C_1 — запасы, определенные на основании редкой сети разведочных пересечений или экстраполяции по геологическим и геофизическим данным; категория C_2 — запасы, предварительно оцененные по геологическим и геофизическим данным, подтвержденным опробованием полезного ископаемого в отдельных пересечениях; прогнозные запасы — предполагаемые на основе общих геологических представлений потенциально возможные запасы в пределах рудных зон, полей, бассейнов без установления контуров их распространения и без аналитического определения качества полезного ископаемого.

На подстадии поисково-оценочных работ могут быть определены ожидаемые запасы — прогнозные и запасы категории C_2. Положение этих категорий запасов в общей классификации запасов полезных ископаемых определяется следующей схемой. Запасы категорий А и В выявляются при детальной разведке; категории C_1 — при предварительной разведке; категории C_2 — при поисково-оценочных работах; запасы прогнозные — при поисково-оценочных работах и детальных поисках.

Оценка запасов категории C_2 и прогнозных отличается сложностью, так как данных для такой оценки обычно недостаточно и поэтому приходится ориентироваться на многие геологические факторы и материалы поисково-оценочных работ [26, 27, 139]. Для каждого типа ожидаемых месторождений эта оценка имеет свои особенности, без учета которых невозможно решать эту проблему. Рассмотрим некоторые примеры оценки запасов полезных ископаемых по данным поисково-оценочных работ и детальных поисков.

Месторождения осадочного генезиса (пластовые и пластообразные).

Пример месторождения горизонтально залегающего. Прогнозные запасы, например марганцевых руд, определяются для всей площади района с учетом фациального выклинивания рудных тел. Запасы категории C_2 могут быть подсчитаны только на участке, где были выполнены поисково-оценочные работы в виде канав и скважин.

Пример месторождения наклонно залегающего. Бокситы. Оценка запасов бокситов по категории C_2 может быть выполнена до глубины, превышающей глубину последнего поисково-оценочного пересечения примерно в два раза; прогнозные запасы распространяются еще глубже, а также подсчитываются в перспективе для всего района.

Месторождения коры выветривания, имеющие плащеобразную форму и почти горизонтальное залегание.

Пример месторождения силикатно-никелевых руд, приуроченного к коре выветривания гипербазитов. Запасы категории C_2 могут подсчитываться до нижней границы коры, вскрытой единичными шурфами или скважинами. Прогнозные запасы определяются для всего района развития гипербазитовых интрузивов, на которых обнаружена кора выветривания.

Россыпи аллювиальные. Прогнозные запасы подсчитываются по всем долинам, где единичными шурфами или скважинами были обнаружены промышленные содержания полезных минералов. Запасы категории C_2 подсчитываются в пределах тех участков, где долины были пересечены поисково-оценочными выработками или скважинами хотя бы по одному профилю при расстояниях между пересечениями от 10 до 40 м.

Месторождения магматические, связанные с интрузивами основных или ультраосновных пород.

Пример медно-никелевого месторождения Норильского района, приуроченного к пологозалегающему интрузиву габбро-диабазов. Прогнозные запасы здесь могут быть подсчитаны для всего района по данным интерпретации сложных комплексных геофизических аномалий. Запасы категории C_2 могут быть определены по интрузиву, который вскрыт поисково-оценочными буровыми скважинами, показавшими промышленные руды. При этом должны быть выделены запасы сплошных сульфидных руд в нижней части интрузива и вкрапленных руд в его верхних частях.

Для подобных же месторождений, но имеющих крутое падение, запасы категории C_2 распространяются на определенную глубину в виде «полотна». Более сложен подсчет запасов в таких же рудопроявлениях, но погребенных под осадочными отложениями платформенного чехла, как это имеет место на Воронежской антеклизе.

Постмагматические месторождения могут иметь жильную или штокверковую формы как наиболее распространенные. В проявлениях жильной формы, вскрытых на поверхности канавами, подсчет запасов категории C_2 осуществляется в виде подвески «полотна» или «треугольника» примерно на $^1/_4$ или на $^1/_2$ общей длины жилы или жильной зоны, изученной поисково-оценочными пересечениями на поверхности. Прогнозные запасы «подвешиваются» еще ниже, а также подсчитываются для всего жильного поля с учетом всех имеющихся данных. В проявлениях штокверковой формы подсчет запасов категории C_2 может быть выполнен на основе данных геохимического опробования по геохимическим аномалиям, а также данных опробования поверхностных горных выработок.

Перспективная оценка проявлений полезных ископаемых может быть произведена так называемым методом простых аналогий. В. И. Красниковым для этой цели, например, предложена оценка по пяти параметрам девятибалльной шкалы (табл. 28). На основе сопоставления указанных параметров для нового проявления полезного ископаемого могут быть получены суммарные величины баллов, которые автором этой системы предлагается группировать следующим образом:

— рядовые промышленные месторождения — 5—6 баллов;

— месторождения повышенной промышленной ценности — 7—8 баллов;

— исключительно ценные месторождения — 9—10 баллов;

— сомнительной ценности месторождения — не более 3—4 баллов.

Подобная оценка носит качественный характер и потому допускает субъективность подхода, но на первых этапах оценки она может иметь право на применение.

Метод простых аналогий иногда применяется в виде диаграмм перспективной оценки проявлений полезных ископаемых, как

Таблица 28

Параметры перспективной оценки проявлений полезных ископаемых (по В. И. Красникову, 1956 г.)

Наименование параметра	Характеристика по оценочным баллам		
	2	1	0
Масштаб месторождений	Крупный	Средний	Небольшой
Качество полезного ископаемого	Высокое	Рядовое	Низкое
Продуктивность месторождения (количество полезного ископаемого на единицу площади или объема)	Высокая	Средняя	Низкая
Горнотехнические условия эксплуатации	Особо благоприятные	Обычные	Неблагоприятные
Экономика района	Особо благоприятная	Обычная	Неблагоприятная

это сделано, например, в работе В. И. Панченко, В. С. Булгакова и Ф. В. Мужановского [130] для оценки пегматитов в отношении пьезокварцевого сырья (рис. 76). На данной корреляционной диаграмме перспективная оценка вновь выявленных скрытых пегматитовых тел дается по ведущим параметрам: мощности пегматитовых тел; структурам пегматита; цвету пегматита. Сопоставление этих параметров в различных сочетаниях позволяет выделить на диаграмме поля наиболее благоприятных значений параметров и решить вопрос о перспективной оценке выявленного пегматитового тела в отношении возможного наличия или отсутствия занорышей с пьезокварцем.

Перспективная оценка проявлений полезных ископаемых завершается составлением ТЭО — *технико-экономического обоснования* целесообразности перехода к предварительной разведке. В ТЭО излагаются следующие данные:

— краткий анализ результатов поисково-оценочных работ;

— возможный промышленный тип ожидаемого месторождения; сопоставления с аналогами подобных месторождений, известных в практике;

— требования промышленности к данному виду сырья; сопоставления выполняются по аналогии, а для некоторых видов полезных ископаемых на основании произведенных технических или технологических испытаний (для новых видов сырья, для ряда строительных материалов — облицовочного камня и др.);

— ожидаемые запасы полезного ископаемого и полезного компонента (запасы прогнозные и категории C_2); качество полезного ископаемого и другие параметры;

— экономические условия района (транспорт, энергетическая база, промышленность и др.);

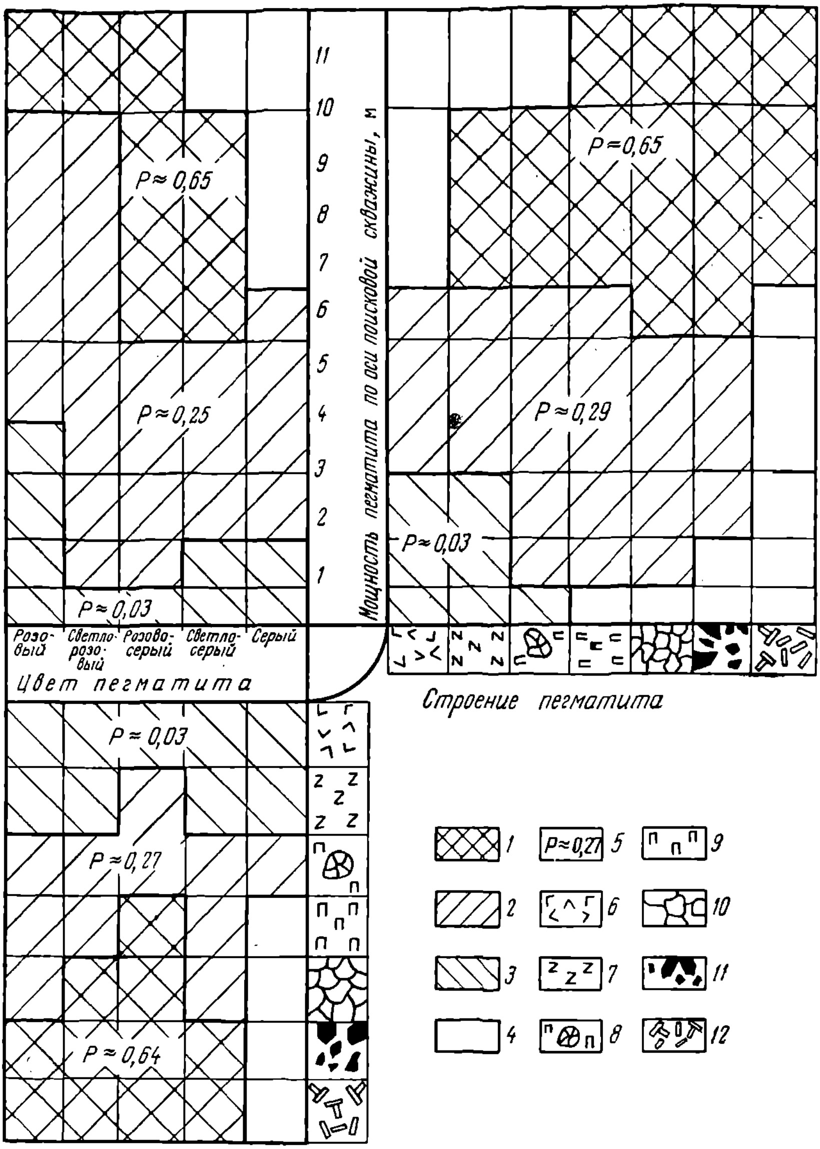


Рис. 76. Корреляционная диаграмма определения перспективности пегматитов по их ведущим оценочным параметрам (по В. И. Панченко и др.).

1 — поля сочетаний наиболее высоких значений ведущих оценочных параметров перспективности пегматитов; *2* — то же, средних значений; *3* — то же, невысоких значений; *4* — поля, на которых пегматиты по сочетанию ведущих параметров не встречены; *5* — оценка эмпирической вероятности перспективных пегматитов; пегматиты: *6* — графической структуры, *7* — пегматоидной структуры, *8* — блоковой структуры, *9* — полевой шпат; *10* — серый кварц; *11* — занорыш; *12* — породы зоны выщелачивания (автогидротермальные процессы)

— выводы о том, что данное проявление полезного ископаемого заслуживает или не заслуживает постановки предварительной разведки.

ТЭО составляется геологами партии, экспедиции и утверждается ТГУ.

При составлении ТЭО могут быть выполнены технико-экономические расчеты по простейшим формулам, предложенным В. В. Померанцевым [94]: ожидаемая годовая производительность горнорудного предприятия $A = K\sqrt{З}$, где K — коэффициент пропорциональности (от 100 до 300), З — запасы полезного

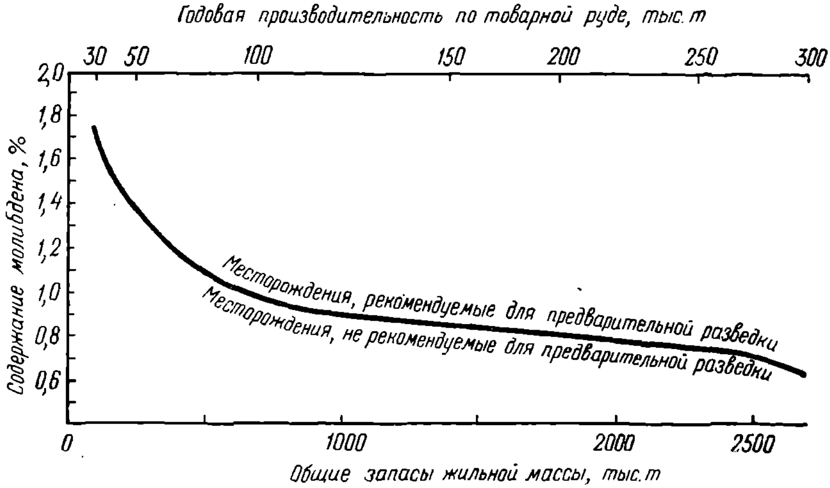


Рис. 77. Граничные параметры браковочных кондиций жильных месторождений для оценки на стадии поисково-оценочных работ при нормальных условиях освоения и местонахождения при подземной отработке (по Н. А. Хрущову и др.)

ископаемого в тоннах; необходимые капиталовложения: $K_В \doteq = 300A + 40 \cdot 10^6$ руб.

Большой интерес для практического использования представляют рекомендации по методике оценки месторождений на поисково-оценочной (поисково-разведочной) подстадии, разработанные группой авторов ВИЭМС по предложению и под руководством Н. А. Хрущова.

Основная идея этих рекомендаций заключается в том, чтобы вооружить геолога-поисковика общими оценочными кондициями в виде таблиц, графиков (номограмм) и карт для каждого вида полезного ископаемого. Числовые параметры оценки и графическое их изображение позволяют производить предварительную оценку выявленных проявлений полезных ископаемых и решать вопрос о возможности передачи его в предварительную разведку.

В работе Н. А. Хрущова и др. [149] в качестве примера даны рекомендации по оценке на стадии поисково-разведочных работ

месторождений молибденовых, вольфрамовых и меднопорфировых руд. Оценочные кондиции разработаны с учетом следующих показателей: общие запасы руды, годовая производительность будущего предприятия, затраты на разведку 1 т руды, себестоимость добычи 1 т руды, себестоимость обогащения 1 т руды,

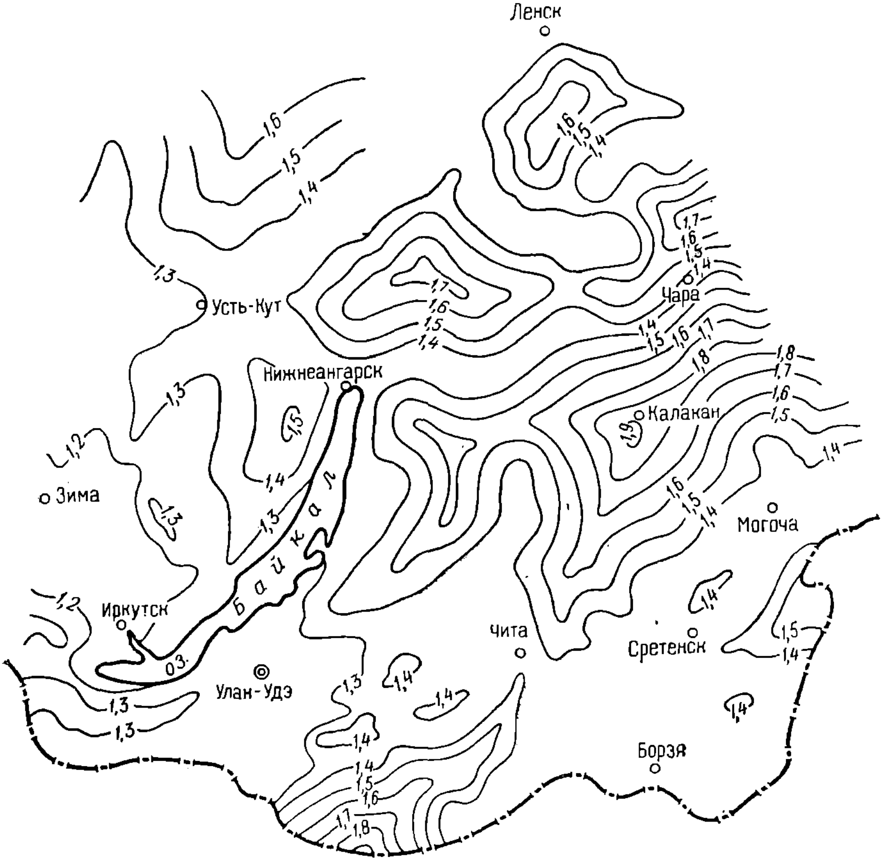


Рис. 78. Схема географо-экономического районирования одного из регионов Восточной Сибири (по В. В. Поспееву, значительно упрощено). Величины суммарного поправочного коэффициента к оценочным кондициям для жильных и скарновых месторождений молибдена и вольфрама показаны в изолиниях

накладные расходы, суммарные издержки производства, содержание полезного компонента в недрах.

Оценка месторождений, рекомендуемых для предварительной разведки, может производиться по специальным графикам (рис. 77), учитывающим перечисленные показатели.

Как отмечают Н. А. Хрущов и др., оценочные кондиции для молибдена и других полезных ископаемых рассчитаны для

нормализованных горнотехнических и технологических условий освоения месторождений и географо-экономических условий их нахождения.

Для учета конкретных условий будущей эксплуатации и местонахождения оцениваемых месторождений авторами рекомендаций рассчитаны поправочные коэффициенты: на способ разработки, потери руды в недрах, разубоживание, коэффициенты вскрыши, коэффициент рудоносности, товарное извлечение в концентрат и др.

Поправочные коэффициенты вычислялись для различных географо-экономических условий. В итоге составлены карты, на которых в изолиниях показаны суммарные поправочные коэффициенты к оценочным кондициям по содержанию полезного компонента в недрах месторождений, которые будут отрабатываться открытым или подземным способами (рис. 78). Изолинии поправочных коэффициентов на карте рассчитаны для месторождений, на базе которых могут работать предприятия мощностью не более 175 тыс. т руды/год. Для более крупных месторождений поправочные коэффициенты должны уменьшаться путем расчета по специальной формуле. Подобные карты представляют собой своеобразные карты «экономических полей», дополняющие карты полей геологических, минералогических, геохимических и геофизических.

В целом кратко изложенные рекомендации Н. А. Хрущова и др. по оценке месторождений на стадии поисково-разведочных (поисково-оценочных) работ открывают путь к повышению общей экономической эффективности поисковых работ.

Глава 2

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Эффективность — это действие, приводящее к нужным результатам; иначе — результативность. Эффективность поисковых работ должна рассматриваться с двух позиций, которые тесно связаны между собой, но имеют свои особенности: с позиции экономической и с позиции геологической. В связи с этим обычно и выделяются экономическая эффективность и геологическая эффективность поисковых работ.

Экономическая эффективность поисковых работ — это получение необходимых результатов с наименьшими затратами средств и времени; геологическая эффективность поисковых работ — это получение максимума кондиционных геологических данных для прогноза и выявления месторождений полезных ископаемых, а также для их перспективной оценки.

В более широком аспекте геологическая и экономическая эффективность составляют общую экономическую эффективность геологоразведочных работ, которая, по мнению Л. П. Кобахидзе, «...В конечном итоге выражается в повышении общественной производительности труда... Чем выше общественная производительность труда в геологоразведочном производстве, и следовательно, ниже общественные издержки производства на выявление и разведку минерального сырья, тем выше экономическая эффективность геологоразведочных работ...» [81, стр. 283].

Пути повышения общей экономической эффективности поисковых работ определяются рядом факторов или показателей, указанных в табл. 29.

Таблица 2

Пути повышения общей экономической эффективности поисковых работ

Экономическая эффективность	Геологическая эффективность
Рациональная методика поисков или поисково-оценочных работ. Применение новой техники, технологии и организации работ. Выявление перспективных площадей для постановки поисковых работ и оценка новых проявлений полезных ископаемых для постановки предварительной разведки	
Сокращение объемов горно-буровых работ Сокращение затрат на транспорт и др.	Получение кондиционных материалов (геологических карт и др.) Комплексный анализ полученных материалов для целей прогноза, поисков и оценки проявлений полезных ископаемых

Применение рациональной методики поисковых работ повышает их общую экономическую эффективность:

— на первой стадии, например, применение групповой геологической съемки, сопровождаемой предварительными поисками, позволяет экономить средства и время на прогнозную оценку значительных по размеру площади регионов.

— на второй стадии рациональная методика поисковых работ, разработанная с учетом характера геологических и геофизических аномалий ожидаемых объектов, создает условия для сокращения затрат на комплекс применяемых поисковых методов за счет исключения из него тех методов, которые не соответствуют ожидаемому характеру аномалий. С другой стороны, это увеличивает и геологическую эффективность работ.

Возможность сокращения объемов горно-буровых работ, которые в общем комплексе поисковых методов играют ведущую роль по стоимости, имеет также большое значение для повышения экономической эффективности поисковых работ. По имеющимся данным удельный вес поискового бурения

для выявления скрытых месторождений составляет от 25 до 75% от общего объема бурения (поискового и разведочного). Сокращение объемов горно-буровых работ, а следовательно, и стоимости поисков, возможно за счет применения геохимических и геофизических методов. Однако это не всегда осуществимо для поисков месторождений, создающих неотчетливые аномалии. Кроме того, следует учитывать, что одиночными пересечениями (горными выработками или скважинами) невозможно произвести оценку проявлений полезных ископаемых для решения вопроса о передаче их в предварительную разведку.

В целом необходимо находить какую-то «среднюю линию», которая, с одной стороны, учитывает необходимость сокращения стоимости горно-буровых работ, а с другой — необходимость выявления и оценки проявлений полезных ископаемых, заслуживающих внимания промышленности.

Применение новой техники, технологии и организации поисковых работ влияет на повышение эффективности работ. Например, новые станки УПБ-25, УПБ-12/25 и др. заменяет дорогое и непроизводительное ручное бурение картировочных и поисковых скважин. Система документации на перфокартах позволяет экономить время при обобщении полевых материалов. Организация комплексных геолого-геофизических экспедиций и партий способствует повышению экономической и геологической эффективности поисковых работ на всех стадиях их выполнения.

Выявление перспективных площадей или непосредственно объектов для постановки разведочных работ наиболее значительный результат поисковых работ, определяющий резкое повышение их эффективности:

— Выявление перспективных площадей для постановки на первой стадии более детальных поисковых работ ограничивает площади дальнейших работ и, следовательно, позволяет экономить средства и время.

— Выявление проявлений полезных ископаемых, заслуживающих постановки предварительной разведки на второй стадии — наиболее экономически эффективный результат поисковых работ.

При этом следует ориентироваться на выявление крупных месторождений, которые смогут оправдать не только поисковые и разведочные работы, но и будущую эксплуатацию. Рассмотрим сопоставление затрат на поиски и разведку месторождений с возможной стоимостью извлекаемого из них сырья. Сопоставление проведем на условных примерах. Обозначим: S_1 — затраты на поисковые и разведочные работы; S_2 — стоимость (по оптовым ценам) извлекаемого минерального сырья из данного месторождения. Для сравнения возьмем два месторождения свинцовых руд — крупное (*А*) и небольшое (*Б*).

Предположим, что для месторождения *А* подсчитаны запасы свинца в 1 млн. т. При оптовой стоимости 1 т свинца около 700 руб.

общая стоимость заключенного в недрах сырья будет 700 млн. руб. Будем считать, по аналогии с известными примерами, что затраты на поисковые и разведочные работы составляет 7 млн. руб., что соответствует 1% общей стоимости месторождений.

Для месторождения *Б* запасы свинца определены в 10 тыс. т, стоимость которых равна 7 млн. руб. Если считать, что на выявление этих запасов было затрачено также 7 млн. руб., то стоимость извлекаемого сырья будет равна стоимости поисковых и разведочных работ. Это для свинцовых руд нерентабельно и такое месторождение в лучшем случае будет отнесено в разряд резервных.

В приведенном примере использован только один показатель экономической эффективности затрат на геологоразведочные работы — стоимостная отдача затрат. Для более полного определения экономической эффективности необходимо учитывать и другие показатели, которые удается определить уже по данным следующей стадии геологоразведочного процесса — предварительной разведки. Однако и после завершения поисково-оценочных работ эти дополнительные показатели (доля затрат на поиски и разведку в общей сумме капитальных вложений и др.) могут в той или иной форме также прогнозироваться.

Составной частью этих показателей, выраженной в стоимостной форме, признана ц е н а разведанных запасов минерального сырья в недрах, определение которой может быть сделано по формуле Н. А. Хрущова:

$$Ц_з = ОНЗ + А \cdot П_э \cdot К_в, \text{ руб/т},$$

где $Ц_з$ — цена 1 т разведанных запасов; ОНЗ — общественно необходимые затраты (средние по отрасли) на разведку 1 т запасов; А — доля общих затрат на поиски и разведку в общей сумме капитальных вложений в промышленное освоение разведанных запасов; $П_э$ — расчетная прибыль от эксплуатации разведанных запасов; $К_в$ — коэффициент, учитывающий фактор времени, равный 0,5 при среднем десятилетнем разрыве во времени между затратами на разведку запасов и получением прибыли от их разработки.

Цена разведанных запасов в дальнейшем используется в формуле М. И. Агошкова и Н. А. Хрущова [2] для определения экономической эффективности затрат на геологоразведочные работы, начиная со стадии предварительной разведки.

Конечно, далеко не всегда при поисках выявляются месторождения полезных ископаемых, заслуживающие постановки предварительной разведки вообще и тем более месторождения крупные. Нередко выявляются объекты, оценку которых выполнить очень трудно. В некоторых объектах не всегда удается сразу оценить все параметры полезных ископаемых, а иногда и тип месторождения. Как же будет осуществляться в этом случае оценка экономической эффективности поисковых работ?

В таких случаях, как и вообще при производстве поисковых работ, ориентировка должна быть направлена на выполнение оценки перспективной площади или проявления полезного ископаемого с минимальными затратами средств и времени. Рассмотрим пример, иллюстрирующий это положение.

Обнаружено колчеданное месторождение с зоной окисления, в которой установлено промышленное содержание золота. После оценки зоны окисления решили произвести поисково-оценочные работы в первичной сульфидной зоне для выявления там полиметаллических колчеданных руд, которые известны в подобных месторождениях данного региона. Поисково-оценочные работы были запроектированы с применением буровых скважин по определенной сети. Первые пробуренные скважины показали, что в колчеданных рудах отсутствует ожидаемое промышленное полиметаллическое оруденение. Экспертиза проекта поисково-оценочных работ предложила прекратить дальнейшее выполнение работ, а оставшиеся объемы бурения и средства перенести на общие и детальные поиски в данном районе. Таким путем была получена экономия средств и времени на предполагавшуюся перспективную оценку объекта.

В целом экономическая и геологическая эффективность поисковых работ должны анализироваться на всех стадиях и подстадиях. При этом всегда необходимо стремиться к разработке рациональной методики поисковых работ, которая в конечном счете обеспечивает повышение эффективности на основе учета многих факторов и показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильная рентгенофлуоресцентная съемка. — «Разведка и охрана недр», 1969, № 8, с. 43—46 с ил. Авт.: Г. А. Пшеничный, А. П. Очкур, Р. И. Плотников, Л. И. Вознесенский, В. Г. Пущанский.

2. Агошков М. И., Хрущов Н. А. Критерий экономической эффективности геологоразведочных работ. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1972, № 12, с. 126—136.

3. Албул С. П. Рудопоисковая гидрогеохимия. М., 1969, 343 с. с ил. (Университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы).

4. Альбов М. Н. Вторичная зональность золоторудных месторождений Урала. М., Госгеолтехиздат, 1960, 215 с. , ил.

5. Аристов В. В. Основные типы скрытых месторождений твердых полезных ископаемых и применяемая методика их поисков. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1964, № 4, с. 90—99.

6. Аристов В. В. Вопросы теоретического обоснования поисков скрытых постмагматических месторождений. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1964, № 6, с. 3—24 с ил.

7. Аристов В. В. Вопросы теоретического обоснования поисков скрытых постмагматических месторождений. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1964, № 7, с. 3—26 с ил.

8. Аристов В. В., Ляхов Л. Л. Общность геологического и геофизического понятия «поля» и «аномалии» как основа комплексных геолого-геофизических исследований. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1969, № 6, с. 60—65 с ил.

9. Аристов В. В., Ляхов Л. Л. Поисковая группировка месторождений твердых полезных ископаемых по характеру создаваемых ими геологических и геофизических аномалий. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1970, № 5, с. 62—71 с ил.

10. Аристов В. В., Тихомиров С. В. Значение современного варианта периодической системы Д. И. Менделеева для прогноза и поисков полезных ископаемых. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1970, № 11, с. 9—18 с ил.

11. Аристов В. В., Кудрявцев Ю. К., Попов В. С. Геологическая позиция медно-молибденового оруденения Северного Прибалхашья. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1972, № 10, с. 53—59 с ил.

12. Бабаянц С. П., Заварзин Г. Н. Поиски мезозойских бокситов Казахстана с применением геофизических методов. — «Разведка и охрана недр», 1962, № 2, с. 28—34 с ил.

13. Барышев Н. В. Опробование. — В кн. В. М. Крейтера: Поиски и разведка полезных ископаемых. М. — Л., 1940, с. 294—465 с ил.

14. Башилов В. И., Махин Г. В., Еремин В. К. Аэрофотогеологическое картирование закрытых территорий. — «Разведка и охрана недр», 1972, № 4, с. 17—21.

15. Безирганов Б. Г. Рациональная схема методики поисков скрытых золоторудных тел, приуроченных к основным и ультраосновным породам (на примере золоторудного поля Малого Кавказа). — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1973, № 1, с. 75—81.

16. Беневоленский И. П. Комплексные геофизические работы на редкометальных штокверках Центрального Казахстана. — В кн.: Материалы по геологии и полезным ископаемым Центрального Казахстана. Вып. 2. М., 1962.

17. Бирюков В. И., Куличихин С. Н., Трофимов Н. Н. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., «Недра», 1973, 384 с. с ил.

18. Богацкий В. В., Суга́нов Б. И. Пространственно-статистический анализ сложности геологического строения и его применение в металлогенических целях. — «Докл. АН СССР», 1968, т. 181, № 1, с. 165—168 с ил.

19. Бондаренко Б. В. Складчатые зоны докембрия Белоруссии по геофизическим данным. — В кн.: Геология и перспективы металлоносности докембрия Белоруссии и смежных районов. Минск, 1965, с. 28—38 с ил.

20. Борисов А. А. Глубинная структура территории СССР по геофизическим данным. М., «Недра», 1967, 303 с. с ил.

21. Бородаевская М. Б., Перижняк Н. А. Некоторые вопросы структуры Гайского месторождения медноколчеданных руд. — «Геология рудных месторождений», 1961, № 2, с. 7—22 с ил.

22. Боровко Н. Н. Статистический анализ пространственных геологических закономерностей. Л., «Недра», 1971, 174 с. с ил.

23. Бродовой В. В. Об экономической эффективности проведения комплекса геологических и геофизических работ при картировании масштаба 1 : 50 000. — «Разведка и охрана недр», 1967, № 4, с. 36—42.

24. Булгаков В. С., Панченко В. И. Об определении оптимальных параметров поисковой сети для выявления слепых пегматитовых тел. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1967, № 12, с. 55—63.

25. Буршин И. А. Кадры советской геологии. — «Советская геология», 1967, № 11, с. 5—14.

26. Быховер Н. А. Основные принципы и методы прогнозирования минеральных ресурсов. М., 1971, 38 с. (ОНТИ ВИЭМС).

27. Быховер Н. А. Количественная оценка прогнозных запасов твердых полезных ископаемых. — «Разведка и охрана недр», 1972, № 10, с. 16—21.

28. Вадимов Н. Т. Методика разведки россыпных ильменитовых и титан-циркониевых месторождений, а также месторождений коры выветривания Украины. — В кн.: Материалы по методике разведки полезных ископаемых. Труды Всес. совещ. по методике разведки полезных ископаемых 19—24/XII 1960 г. М., 1962, с. 244—249.

29. Вартанян С. У. Роль физико-механических свойств пород в локализации слепых рудных тел и обоснование их поисков (на примере колчеданных месторождений Северной Америки). — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1961, № 12, с. 75—84 с ил.

30. Верещагин В. Н. Меловое углеобразование и его роль в процессах угленакопления на Земле. — «Советская геология», 1960, № 2, с. 83—86.

31. Викторов С. В. Краткий очерк истории развития и современного состояния геоботанического метода в геологии. — В кн.: Геоботанические методы при геологических исследованиях. М., 1955, с. 5—10.

32. Виноградов А. М. Роль геофизических исследований при проведении геологосъемочных работ на Южном Урале. — «Разведка и охрана недр», 1966, № 12, с. 34—38 с ил.

33. Войслав С. Г. Разведка пластовых месторождений полезных ископаемых посредством шурфования (со многими политипажами и пластовой картой). СПб., 1881, 142 с.

34. Вольфсон Ф. И. Проблемы изучения гидротермальных месторождений. Изд. 2-е, М., Госгеолтехиздат, 1962, 305 с. с ил.

35. Вольфсон Н. Б., Гарьковец В. Г., Хваловский А. Г. Опыт применения геофизических методов при решении некоторых вопросов глубинного геологического картирования в Алмалыкском рудном районе. — «Советская геология», 1961, № 1, с. 109—120 с ил.

36. Вострецов Ю. П., Натаров А. Г. Опыт применения одноканальной сейсмической установки при крупномасштабных геологических исследованиях. — «Разведка и охрана недр», 1968, № 4, с. 37—40 с ил.

37. Гаврилов А. А., Горшков В. Г., Рязанов А. Н. Рекомендации по проектированию и выполнению авиатранспортных и аэросъемочных работ. М., 1973, 141 с. с ил. (ВИЭМС).

38. Гарьковец В. Г., Хваловский А. Г. Новые данные о геофизических поисках скрытых и погребенных рудных тел в Алмалыкском районе. — «Разведка и охрана недр», 1963, № 10, с. 43—48 с ил.

39. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т. 2. Подмосковный бассейн и другие месторождения угля центральных и восточных областей Европейской части РСФСР. М., Госгеолтехиздат, 1962, 399 с. с ил.

40. Геологический словарь. Т. 1. М., «Недра», 1973, 456 с.

41. Геологическая эффективность и перспективы развития высокочастотной электроразведки. — «Советская геология», 1971, № 8, с. 142—149 с ил. Авт.: А. Г. Тархов, В. М. Гнидчин, Н. Д. Коваленко, Э. С. Седельников, С. М. Скорняков.

42. Гернгардт Н. Э. Лейкоксен в песчаниках - коллекторах нефтяных месторождений Южного Тимана. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1962, № 6, с. 50—55 с ил.

43. Геохимия ландшафтов и поиски полезных ископаемых на Южном Урале. Под ред. А. И. Перельмана. 1961, 181 с. с ил. (МГУ). Авт.: М. А. Глазовская, А. А. Макунина, И. А. Павленко, М. Г. Божко, И. П. Гаврилова.

44. Герасимов Л. М., Лускина В. Ю. Применение высотной аэрофотосъемки для выявления структур, контролирующих проявления исландского шпата. — «Разведка и охрана недр», 1972, № 3, с. 19—23 с ил.

45. Гиммельфарб Б. М. Закономерности размещения месторождений фосфоритов СССР и их генетическая классификация. М., «Недра», 1965, 307 с. с ил.

46. Гинзбург А. И. Роль минералогических исследований в решении практических задач геологоразведочной службы. — «Разведка и охрана недр», 1971, № 4, с. 12—18.

47. Гинзбург И. И. Опыт разработки теоретических основ геохимических методов поисков руд цветных и редких металлов. М., Госгеолтехиздат, 1957, 299 с. с ил.

48. Глико О. А. Ландшафтные условия и применение поисковых методов. — В кн.: Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых. М., «Недра», 1968, с. 278—322 с ил.

49. Глуховский М. З., Коген В. С. Дешифрирование аэрофотоматериалов при поисках коренных и россыпных месторождений золота. — «Разведка и охрана недр», 1968, № 10, с. 10—12 с ил.

50. Голева Г. А. Гидрогеохимические поиски скрытого оруденения. М., «Недра», 1968, с. 292 с ил.

51. Голева Г. А., Крайнов С. Р., Соколов И. Ю. Методические указания по гидрогеохимическим поискам рудных месторождений. М., «Недра», 1968, 90 с. с ил.

52. Горбунов Г. И. Геология и генезис сульфидных медно-никелевых месторождений Печенги. М., «Недра», 1968, 352 с. с ил.

53. Горелик З. А. О влиянии тектоники Белорусско-Литовского кристаллического массива на формирование современного рельефа и распределение речной сети. — В кн.: Геология и перспективы металлоносности докембрия Белоруссии и смежных районов. Минск, 1965, с. 114—123 с ил.

54. Горжевский Д. И., Королев Г. Г. Возможности выявления новых полиметаллических месторождений в пределах Рубцовского рудного района. — «Разведка и охрана недр», 1973, № 12, с. 13—18.

55. Горжевский Д. И., Якубовский Ю. В. Геологические обстановки и особенности их изучения (с применением геофизических методов) при проведении поисково-разведочных работ. — В кн.: Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых. М., 1968, с. 323—405.

55а. Горжевский Д. И., Козеренко В. Н. Связь эндогенного рудообразования с магматизмом и метаморфизмом. Введение в металлогению эндогенных процессов рудообразования. Под ред. акад. В. И. Смирнова. М., «Недра», 1965, 298 с. с ил.

56. Григорьева А. И., Карамышева Г. Д., Яблокова С. В. Особенности геологии и условия формирования погребенных прибрежных россыпей на примере одного из районов юго-восточной части Западно-Сибирской низменности. — «Тр. ЦНИГРИ», 1961, вып. 38, с. 139—161 с ил.

57. Григорьев И. Ф. Грейзены, их минералогические типы и условия образования. — «Бюлл. МОИП. Отдел геол.», 1953, т. 28, вып. 1, с. 3—25 с ил.

58. Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений и их использование при поисках скрытого оруденения. М., «Недра», 1968, 203 с. с ил.

59. Дмитриев А. Н., Журавлев Ю. И., Кренделев Ф. П. Об одном принципе классификации и прогноза геологических объектов и явлений. — «Геология и геофизика», 1968, № 5, с. 50—64.

60. Елисеев Н. А. Метаморфизм. М., «Недра», 1962, 428 с. с ил.

61. Еремеев А. Н., Ершов А. Д., Яницкий И. Н. Некоторые аспекты гелиевой съемки при структурно-геологическом картировании и прогнозе эндогенного оруденения. — «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», 1971, вып. 5, с. 49—66 с ил.

62. Задачник для лабораторных занятий по курсу «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых». М., «Недра», 1966, 159 с. с ил. Авт.: Е. О. Погребицкий, А. К. Марков, Н. В. Иванов, С. В. Парадеев, Н. И. Руденко, А. В. Скропышев, В. И. Терновой.

63. Засухин Г. Н., Логинова Л. А. Опыт применения геохимических поисков колчеданных месторождений на Южном Урале. М., Госгеолтехиздат, 1963, 135 с. с ил.

64. Захаров Е. Е. О некоторых закономерностях в регионально-геологическом размещении месторождений руд черных и цветных металлов. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 1. М., 1958, с. 92—122 с ил.

65. Звонкова Т. В. Изучение рельефа в практических целях. М., Географгиз, 1959, 303 с. с ил.

66. Землянов В. Н. Показатель сложности геологического строения. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 10, с. 25—26 с ил.

67. Зимин И. А., Халевина М. Б. Об использовании магнитометрических данных при оценке перспективных запасов магнетитовых месторождений. — «Разведка и охрана недр», 1958, № 8, с. 19—21.

68. Иванкин П. Ф. О системном подходе в геологических исследованиях. — «Советская геология», 1973, № 8, с. 3—13.

69. Иванов А. А. Основы геологии и методики поисков, разведки и оценки месторождений минеральных солей. М., Госгеолтехиздат, 1953, 204 с. с ил.

70. Иванов А. А., Левицкий Ю. Ф. Геология галогенных отложений (формаций) СССР. — «Тр. ВСЕГЕИ. Новая серия», 1960, т. 35, 424 с. с ил.

71. Иванов О. Д. Применение магниторазведки при поисках медноколчеданных месторождений. — «Разведка и охрана недр», 1961, № 9, с. 32—35.

72. Иванов Ю. Г., Коногоров Г. С. Количественная оценка информативности поисковых признаков на эндогенное оруденение. — «Советская геология», 1971, № 2, с. 115—125.

73. Инструкция о содержании и порядке составления геологических отчетов. М., «Недра», 1965, 79 с.

74. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М., «Недра», 1965, 227 с. с ил.

75. Испытания подводной буровой установки. — «Разведка и охрана недр», 1973, № 6, с. 54—55 с ил. Авт.: Н. А. Айбулатов, Ю. М. Барац, А. Г. Зубченко, Ю. Н. Киклевич.

76. Итоги применения аэрометодов в геологии за 25 лет. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 2, с. 5—9. Авт.: Е. Н. Воскресенский, Н. В. Дренов, А. А. Гаврилов, В. К. Еремин, В. Е. Никитский.

77. Казаринов В. П. Западно-Сибирская низменность — новая рудная провинция Советского Союза. — «Советская геология», 1960, № 2, с. 3—16 с ил.

78. Казаринов В. П. Теория и практика литолого-формационного метода. — «Советская геология», 1965, № 8, с. 54—68 с ил.

79. Каменецкий Ф. М., Коваленко В. Ф. Некоторые результаты опробования МПП. — «Разведка и охрана недр», 1962, № 7, с. 35—38 с ил.

80. Касаткин П. И. Перспективы поисковых работ на сульфидные медно-никелевые руды в Норильском районе. — «Советская геология», 1958, № 9, с. 30—43 с ил.

81. Кобахидзе Л. П. Экономика геологоразведочных работ. М., «Недра», 1973, 304 с.

82. Комаров В. А. Метод вызванной поляризации — средство поисков рудных месторождений. — В кн.: Применение метода вызванной поляризации при поисках рудных месторождений. М., 1964, с. 5—25 с ил.

83. Комов И. Л. Высокоточная аэромагнитная съемка при поисках и прогнозировании полезных ископаемых (на примере Енисейского кряжа). — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1969, № 1, с. 100—105 с ил.

84. Комплексные геолого-геофизические исследования рудных районов. М., «Недра», 1969, 176 с. с ил. Авт.: В. В. Аристов, Л. Л. Ляхов, Г. А. Соловьев, Б. Н. Королев, И. Н. Кадыров, Л. И. Зубатарева, М. Г. Петрова.

85. Кондрашев С. Н. Пьезоэлектрический метод разведки. М., «Недра», 1970, 143 с. с ил.

86. Константинов Р. М. Формационный анализ эндогенных рудных месторождений. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 9, с. 4—9.

87. Коптев-Дворников В. С., Руб М. Г., Шаталов Е. Т. О геохимической и металлогенической специализации магмы. — В кн.: Критерии связи оруденения с магматизмом применительно к изучению рудных районов. М., «Недра», 1965, с. 108—133.

88. Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов. — В кн.: Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М., 1953, с. 332—452 с ил.

89. Костенко Н. Н., Проскурин Н. В., Чебдаров Н. Б. Опыт применения вертолетов в практике геологосъемочно-поисковых работ. — «Разведка и охрана недр», 1956, № 7, с. 32—38.

90. Котляр В. Н. Вулканогенные гидротермальные месторождения. — В кн.: Генезис эндогенных рудных месторождений. М., 1968, с. 491—543 с ил.

91. Кравцов А. И. Горючие полезные ископаемые, их поиски и разведка (краткий курс). М., «Высшая школа», 1970, 296 с. с ил.

92. Красников В. И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1959, 411 с. с ил.

93. Крейтер В. М. Поиски и разведка полезных ископаемых. М. — Л., Госгеолиздат, 1940, 790 с. с ил.

94. Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Ч. 1. Поиски и поисково-разведочные работы. Изд. 2. М., Госгеолтехиздат, 1960, 332 с. с ил.

95. Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Изд. 2-е. М., «Недра», 1969, 383 с. с ил.

96. Крейтер В. М., Горжевский Д. И., Козеренко В. Н. Группировка благоприятных геологических обстановок для поисков промышленных месторождений полезных ископаемых. — «Геология рудных месторождений», 1963, № 3, с. 76—87.

97. Куликова Н. Н. О применении газокерновой съемки для обнаружения слепых рудных зон в районе Балейских месторождений. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1960, № 12, с. 78—82 с ил.

98. Кушнарев И. П. Глубина формирования эндогенных месторождений Кураминской структурно-фациальной зоны и роль эрозионного среза в их размещении. — «Геология рудных месторождений», 1961, № 6, с. 3—26 с ил.

99. Кушнарев И. П. Глубины образования эндогенных рудных месторождений. М., «Недра», 1969, 150 с. с ил.

100. К характеристике газов, содержащихся в рудах некоторых месторождений Урала. — «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений». М., 1971, вып. 5, с. 100—118. Авт. Л. Н. Овчинников, А. С. Шур, З. Н. Сунгурова, М. И. Быкова.

101. Литологические и структурные факторы размещения оруденения в рудных районах (Основные принципы металлогенических исследований и составления металлогенических и прогнозных карт рудных районов). Под ред. Е. Т. Шаталова. М., «Недра», 1964, с. 213 с ил. Авт.: А. В. Орлова, И. Н. Томсон, Ф. И. Вольфсон, Л. И. Лукин.

102. Лобанов Д. П. О геолого-методических и научно-технических основах геологоразведочных работ на море. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1974, № 1, с. 3—5.

103. Ломоносов М. В. О слоях земных и другие работы по геологии. С предисл. и поясн. Г. Г. Лемлейна. М. — Л., Госгеолиздат, 1949, 209 с.

104. Ляхович В. В. Содержание и состав акцессорных минера-

лов — индикатор рудоносности изверженных пород. — «Советская геология», 1974, № 1, с. 125—129.

105. Матвеев А. К. Геология угольных бассейнов и месторождений СССР. М., Госгортехиздат, 1960, 495 с. с ил.

106. Матвеенко В. Т., Шаталов Е. Т. Разрывные нарушения, магматизм и оруденение Северо-Востока СССР. — В кн.: Закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 1. М., 1958, с. 169—240 с ил.

107. Металлогения докембрийских щитов и древних подвижных зон — (Доклады 2-й Всесоюзной объединенной сессии по закономерностям размещения полезных ископаемых и прогнозным картам). Ч. 1. Киев, 1960, 264 с. с ил. (АН УССР).

108. Методическое руководство по геологической съемке и поискам. М., Госгеолтехиздат, 1954, 506 с. с ил.

109. Минерагения Сибирской платформы. М., «Недра», 1970, 208 с. с ил. Авт.: Ю. Г. Старицкий, Е. А. Басков, Н. С. Малич, В. Л. Масайтис, Н. Н. Тазихин, И. К. Яковлев.

110. Мирошниченко Г. В., Скороспелкин С. А. Опыт выбора оптимальных сетей при глубинных геохимических поисках. — В кн.: Глубинные поиски рудных месторождений. Вып. 2. М., 1968, с. 227—237 с ил.

111. Михайлов А. Е. Структурная геология и геологическое картирование. М., «Недра», 1973, 432 с. с ил.

112. Мягков В. Ф. О геометрическом способе корреляции физических полей. — «Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений. 1971, № 9. Учен. зап. Перм. ГУ, № 233, с. 131—134.

113. Мягков В. Ф., Работкин А. С. Сравнительная оценка эффективности применения методов ВП и ЕП при поисках меднопорфировых месторождений. — «Вопросы обработки и интерпретации геофизических наблюдений», 1972, № 10, Уч. зап. Перм. ГУ. с. 110—113 с ил.

114. Никифоров Н. А. Ртутно-сурьмяное оруденение Южного Тянь-Шаня. Условия размещения и вопросы методики прогнозирования. Фрунзе, «Илим», 1969, 239 с. с ил.

115. Николаев В. А., Горлов Н. В., Маслеников В. А. Ступени и фации регионального метаморфизма. Метаморфическая зональность и ее картирование. — В кн.: Методическое руководство по геологическому картированию метаморфических комплексов. М., 1957, с. 370—388 с ил.

116. Новая система планирования и экономического стимулирования геологоразведочных работ. М., 1967, 177 с. (ВИЭМС).

117. Новая система планирования и экономического стимулирования геологоразведочных работ. — Сб. методических указаний, положений и инструкций. М., 1969, 254 с. (ВИЭМС).

118. Новомбергский Н. Я., Гольденберг Л. А., Тихомиров В. В. Материалы к истории разведки и поисков полезных ископаемых в Русском государстве XVII в. (по документам Сибирского приказа) — «Очерки по истории геологических знаний». М., 1959, вып. 8, с. 3—63 с ил.

119. Овчинников А. М. Гидрогеохимия. М., «Недра», 1970, 200 с. с ил.

120. Овчинников Л. Н., Григорян С. В., Баранов Э. Н. Зональность первичных геохимических ореолов гидротермальных месторождений и их поисковое значение. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1973, № 10, с. 76—88 с ил.

121. Огарков В. С. Методика разведки угольных месторождений

платформенного типа. Принципы геол.-экон. обоснования. М., Госгеолтехиздат, 1961, 100 с. с ил.

122. О принципах прогнозирования месторождений бокситов. — «Разведка и охрана недр», № 6, 1971, с. 12—17 с ил. Авт.: Б. М. Михайлов, Д. В. Рундквист, В. А. Броневой, В. А. Катлуков, А. М. Кривцов, С. С. Шульц (мл.), А. М. Цехомский.

123. О рациональной методике составления карт природных условий ведения поисковых работ. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1973, № 3, с. 47—52. Авт.: А. Б. Каждан, В. А. Арсеньев, В. Н. Тютин, В. Г. Коровин.

124. Организация и проведение групповых геологосъемочных работ. Материалы по науч.-технич. пропаганде в геологии. М., 1971, 75 с. (ВИЭМС).

125. Основы научного прогноза месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Материалы к совещанию 14—17/XII 1971 г. Л., 1971, 454 с. (МГ СССР).

126. Основные положения организации и производства геологосъемочных работ масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000). М., «Недра», 1968, 55 с. (МГ СССР).

127. Основные положения организации и производства групповой геологической съемки и аэрофотогеологического картирования масштаба 1 : 200 000. М., «Недра», 1973, 64 с. (МГ СССР).

128. Основные принципы составления, содержание и условные обозначения металлогенических и прогнозных карт рудных районов. Под ред. Е. Т. Шаталова. М., «Недра», 1964, 194 с. с ил. и прил. Авт.: Е. Т. Шаталов, А. В. Орлова, К. В. Яблоков, А. И. Дюков, И. Н. Томсон.

129. Остроумов Г. В. Использование ядерно-физических лабораторных методов анализа минерального сырья. — «Разведка и охрана недр», 1971, № 1, с. 52—54.

130. Панченко В. И., Булгаков В. С., Мужановский Ф. В. Оценка перспективности пегматитов по данным поисковых работ. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1972, № 5, с. 68—74 с ил.

131. Пахомов И. В. Основные черты тектоники Кизеловского каменноугольного бассейна. — «Советская геология», 1966, с. 124—131 с ил.

132. Перваго В. А. Стадийность геологоразведочных работ. — «Разведка и охрана недр», 1972, № 1, с. 1—3.

133. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М., «Высшая школа», 1966, 392 с. с ил.

134. Петровская Н. В. Значение продуктивных минеральных ассоциаций для поисков и разведки золоторудных месторождений. — «Разведка и охрана недр», 1955, № 2, с. 17—24 с ил.

135. Поведение золота в зоне окисления золото-сульфидных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1958, 268 с. с ил. Авт.: В. М. Крейтер, В. В. Аристов, И. С. Волынский, А. Н. Крестовников, В. В. Кувичинский.

136. Погребенные вторичные ореолы рассеяния некоторых редкометальных месторождений. — В кн.: Глубинные поиски рудных месторождений. Вып. 2. М., 1968, с. 203—227 с ил. Авт.: А. Н. Фокин, С. Ф. Винокуров, О. К. Мезенцев, Г. А. Семенова.

137. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., «Недра», 1968, 459 с. с ил. Авт.: Е. О. Погребицкий, Н. В. Иванов, А. В. Скропышев, А. К. Марков, Н. И. Руденко, В. И. Терновой.

138. Поисково-разведочная установка для неглубокого бурения прибрежно-морских россыпей. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1972, № 1, с. 144—148 с ил. Авт.: Б. А. Белов, Ю. В. Ильинский, А. К. Курбатов, Н. А. Ларичева, Б. И. Путов.

139. Покалов В. Т., Орлов В. Г. Принципы оценки прогнозных запасов молибдена. — «Советская геология», 1973, № 5, с. 22—32 с ил.

140. По ленинскому пути. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 4, с. 1—5.

141. Принципы и методы прогнозирования медноколчеданного и полиметаллического оруденения (на примере Рудного Алтая). М., «Недра», 1972, 256 с. с ил. Авт.: Н. Л. Бубличенко, Ю. Ю. Воробьев, П. Ф. Иванкин, П. В. Иншин, В. С. Кузебный, В. Н. Любецкий, В. В. Попов, Н. И. Стучевский.

142. Принципы крупномасштабного прогнозирования редкометального оруденения в вулкано-плутонических формациях (с помощью ЭВМ). — «Советская геология», 1972, № 1, с. 62—72 с ил. Авт.: А. Н. Еремеев, И. С. Модников, В. М. Писаревский, Л. В. Чесноков.

143. Прованов В. П., Платонов К. В., Фролков А. Е. Эффективность применения станков УПБ-25 при поисково-съемочных работах. — «Разведка и охрана недр», 1973, № 4, с. 52—53.

144. Прокопчук Б. И., Сочнева Э. Г. Использование анализа тяжелой фракции шлихов для восстановления плана древней речной сети (на примере р. Оленек в Западной Якутии). — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1973, № 1, с. 68—74 с ил.

145. Прохоров А. Н. Методика проведения комплексных геологосъемочных и поисковых работ в закрытых районах. М., «Недра», 1971, 137 с. с ил.

146. Пути повышения эффективности геологосъемочных и поисковых работ (Тезисы докладов на совещании в г. Ульяновске, октябрь 1973 г.). М., 1973, 200 с. (ВИЭМС).

147. Радкевич Е. А. Сравнительная характеристика западной ветви Тихоокеанского и Средиземноморского рудных поясов. — «Геология и геофизика», 1967, № 11, с. 23—30 с ил.

148. Результаты испытания газортутного метода поисков в Донбассе, Закарпатье, Крыму и на северо-западном Кавказе. — «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений», 1971, вып. 5, с. 118—137 с ил. Авт.: А. З. Анищенко, А. П. Большаков, М. А. Карасик, С. И. Кирикилица, В. И. Морозов, В. И. Радько, А. М. Эдельман.

149. Рекомендации по методике оценки месторождений молибденовых, вольфрамовых и меднопорфировых руд на стадии поисково-разведочных работ. М. 47 с. с ил. (ВИЭМС). Авт.: Н. А. Хрущов, Ю. И. Королев, И. Б. Стеркина, В. В. Поспеев, Л. А. Болотов.

150. Реутовский В. С. Полезные ископаемые Сибири. Основания для поисков и разведки рудных месторождений. Ч. 1. Рудные месторождения, 482 с. с ил. Ч. 2. Месторождения безрудные (неметаллические), 400 с. с ил. Спб, Горный Департамент, 1905.

151. Робонен В. И. О поисках руд по их запасу. — «Разведка и охрана недр», 1966, № 10, с. 20—22.

152. Родионов Г. Г., Роненсон Б. М. Оценка месторождений при поисках и разведках. Слюда. М., «Недра», 1972, 215 с. с ил.

153. Родионов П. Ф., Улитин Р. В., Человечков А. И. Применение метода ВП на переменном токе при поисках рудных месторождений. — «Разведка и охрана недр», 1971, № 4, с. 46—50.

154. Романович И. Ф. Опыт классификации месторождений полезных ископаемых по признаку использования в промышленности. — «Изв. вузов. Геология и разведка», 1963, № 5, с. 46—51.

155. Государственная геологическая съемка закрытых территорий на примере работ в Западно-Сибирской низменности. — «Советская геология», 1955, № 49, с. 139—145. Авт.: Н. Н. Ростовцев, З. А. Макарова, Т. Н. Симоненко, И. В. Литвиненко.

156. Р у д о н о с н о с т ь вулканогенных формаций. Материалы межведомственного совещания. Под ред. проф. В. Н. Котляра. М., «Недра», 1965, 325 с. с ил.

157. Р у к о в о д с т в о для практических занятий по курсу поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., «Высшая школа», 1965, 254 с. с ил. Авт.: В. В. Аристов, Ф. П. Кренделев, Д. С. Крейтер, Л. А. Русинов, В. А. Бабушкин.

158. Р у с и н о в и ч И. А. Оценка перспектив Гостищевского железорудного месторождения. — «Разведка и охрана недр», 1958, № 2, с. 1 — 7 с ил.

159. С а в и н с к и й И. Д. Таблицы вероятностей подсечения эллиптических объектов прямоугольной сетью наблюдений. М., «Недра», 1964, 86 с. с ил.

160. С а к о в ц е в Г. П., Р е д о з у б о в А. А. Методы скважинной электроразведки при поисках и разведке рудных месторождений. М., «Недра», 1968, 128 с. с ил.

161. С а м о й л о в а А. П. Метод коэффициентов в биогеохимических исследованиях. — «Разведка и охрана недр», 1961, № 1, с. 11—15.

162. С а п о ж н и к о в Д. Г. Основы прогноза осадочных рудных месторождений. М., «Недра», 1972, 207 с. с ил.

163. С а м о н о в И. З., П о ж а р и с к и й И. Ф. Месторождения меди. — В кн.: Рудные месторождения СССР. Т. 2. Под ред. акад. В. И. Смирнова. М., 1974, с. 99—168 с ил.

164. С а ф р о н о в Н. И. Поисковая классификация месторождений цветных и редких металлов. — В кн.: Руководство по комплексной методике поисков цветных и редких металлов в восточных районах СССР. Сб. 4. М., 1961, с. 1—38.

165. С в я з ь магматизма и эндогенной минерагении с блоковой тектоникой. М., «Недра», 1969, 264 с. с ил. Авт.: М. А. Фаворская, И. Н. Томсон, Р. Г. Иванов, В. А. Баскина, И. К. Волчанская, Ю. П. Дежин, В. С. Кравцов, Д. И. Фрих-Хар.

166. С е м е н е н к о Н. П. Металлогения докембрия. — «Советская геология», 1962, № 2, с. 50—60.

167. С е м е н о в а О. Г., Е в д о к и м о в Ю. Д. Оценка эффективности поисковой сети наблюдений с помощью ЭЦВМ. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 10, с. 21—24 с ил.

168. С и г о в А. П. Стратиграфическое и корреляционное значение терригенных компонентов осадочных пород. — «Советская геология», 1960, № 3, с. 28—39.

169. С и д о р е н к о А. В., Л у н е в а О. И. О фациях регионального метаморфизма и первичном составе пород. — «Советская геология», 1972, № 6, с. 8—21.

170. С м и р н о в В. И. Геологические основы поисков и разведки рудных месторождений. Изд. 2, 1957, 587 с. с ил. (МГУ).

171. С м и р н о в В. И. Колчеданные месторождения. — В кн.: Генезис эндогенных рудных месторождений. М., 1968, с. 586—647 с ил.

172. С о в е р ш е н с т в о в а н и е аналитической службы в организациях Министерства геологии СССР. — «Советская геология», 1973, № 12, с. 3—9. Авт.: А. Н. Еремеев, Е. В. Карус, Г. В. Остроумов, В. Г. Сочеванов, С. И. Савосин.

173. С о в е т с к а я геология — к 50-летию образования СССР. — «Советская геология», 1972, № 11, с. 3—8.

174. С о л о в о в А. П. Теория и практика металлометрических съемок. Алма-Ата, 1959, 266 с. с ил. (АН Каз. ССР).

175. С п е к т р а л ь н ы й анализ при поисках рудных месторождений.

Л., «Недра», 1969, 296 с. с ил. Авт.: С. В. Лонцих, В. В. Недлер, Я. Д. Райхбаум, В. В. Хохлов.

176. Справочник укрупненных проектно-сметных нормативов на геологоразведочные работы. СУСН. Вып. 1. Геологосъемочные и поисковые работы. М., «Недра», 1969, 174 с.

177. Столпнер М. Н., Фундер Г. И. Методика комплексной геологической съемки закрытых районов Зауралья. — «Разведка и охрана недр», 1967, № 7, с. 36—40.

178. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. Т. 1. Типы литогенеза и их размещение на поверхности земли. М., 1960, 212 с. с ил. (АН СССР).

179. Страхов Н. М. Проблемы осадочного марганцеворудного процесса. М., «Наука», 1968, 31 с. с ил.

180. Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых. Т. 1. Поиски. М., «Недра», 1968, 431 с. с ил. Авт.: В. М. Крейтер, В. Н. Козеренко, А. В. Дружинин, Ю. В. Якубовский, А. А. Беус, Г. И. Россман, Н. И. Сафронов, Д. И. Горжевский, В. В. Аристов, О. А. Глико.

181. Тихомиров В. В. Геология в России первой половины 19 в. Ч. 1. М., Изд-во АН СССР, 1960, 227 с. с ил.

182. Ткалич С. М. Практическое руководство по биогеохимическому методу поисков рудных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1959, 51 с.

183. Туркин И. С. О применении электронно-вычислительной машины (ЭВМ) при выборе рационального метода поисков полезных ископаемых. — «Разведка и охрана недр», 1966, № 2, с. 7—11.

184. Федорчук В. П. Критерии перспективной оценки ртутоносности. — «Разведка и охрана недр», 1971, № 10, с. 7—13 с ил.

185. Федынский В. В. Разведочная геофизика. Геофизические методы исследования земной коры, поисков и разведки полезных ископаемых. М., «Недра», 1964, 672 с. с ил.

186. Филатов Е. И. Влияние физико-механических свойств горных пород на локализацию свинцово-цинкового оруденения. — «Геология рудных месторождений», 1967, т. IX, № 1, с. 97—104.

187. Фридман А. И. Природные газы рудных месторождений. М., «Недра», 1970, 192 с. с ил.

188. Фурса С. К., Нечаев Ю. А., Козельский Л. И. Бурение скважин станком УПБ-25 при геологической съемке и поисках в Приуралье. — «Разведка и охрана недр», 1970, № 2, с. 48—52 с ил.

189. Фурсов В. З. Возможности использования паров элементов для поисков рудных месторождений. — «Геохимические методы при поисках и разведке рудных месторождений. 1971, вып. 5, с. 30—48 с ил.

190. Хрущов Н. А. Молибден. — «Оценка месторождений при поисках и разведке», 1961, вып. 19, 270 с. с ил.

191. Чихачев П. К. Геологическая съемка масштаба 1 : 200 000 закрытых территорий (равнин с развитыми на поверхности слабо дислоцированными молодыми рыхлыми образованиями) — «Советская геология», 1959, № 1, с. 121—128.

192. Чухров Ф. В. Минералогия и зональность Восточного Коунрада. М., 1960, 239 с. с ил. (АН СССР).

193. Шаповалов О. М. Применение метода вызванной поляризации на поисковом участке в Челябинской области. — В кн.: Применение метода вызванной поляризации при поисках рудных месторождений. М., 1964, с. 26—42 с ил.

194. Шурко И. И. Особенности картирования крупномасштабных

терригенно-минералогических зон и провинций (Атлантический океан). — Изв. вузов. Геология и разведка», 1972, № 7, с. 39—44 с ил.

195. Шурыгин А. М. Расчет оптимальных сетей скважин для поисков залежей заданного размера. — «Разведка и охрана недр», 1967, № 2, с. 20 с ил.

196. Щеглов А. Д. Металлогения областей автономной активизации. Л., «Недра», 1968, 180 с. с ил.

197. Щеглов А. Д. Влияние геологической практики на разработку основ научного прогноза эндогенных месторождений. — «Разведка и охрана недр», 1972, № 3, с. 14—19.

198. Якубович А. Л. Ядерно-физические методы анализа — на службу геологии. — «Разведка и охрана недр», 1971, № 6, с. 43—48 с ил.

199. Ярош А. Я., Поляков А. Б. Поиски и разведка медноколчеданных месторождений на Урале гравитационным методом. М., Госгеолтехиздат, 1963, 131 с. с ил.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Анализы:
— атомно-абсорбционный 157, 158
— дитизоновый 157, 158
— пламенно-фотометрический 157
— спектральный 157
— химический, пробирный 220
— шлиховой, минералогический 152, 220, 221
Аномалии:
— определение 21, 23
— геологические, структурные 23, 24, 34
— минералогические 24, 34, 100, 107, 223
— геохимические 24, 34, 87, 224, 225
— геофизические 24, 34, 113, 226
Выходы полезных ископаемых 109, 110, 223
Задание геологическое 35, 36
Запасы полезных ископаемых 18, 227, 228
Карты:
— полей (геологического, геофизического, геохимического) 117, 118
— ландшафтных условий ведения поисковых работ 186, 187
— петрофизические 84, 85
— прогноза 117—124
Комплексирование методов поисков 188—191
Кондиции:
— качества полезного ископаемого 19
— оценочные 232
Коэффициенты:
— информативности 42, 43
— вариации 158, 219
— биологического поглощения 97
— корреляции 26, 27, 158
— палеогеографический 72
— сходства месторождений 47
Ландшафты элементарные 185—187
Месторождения полезных ископаемых:
— группировка по характеру аномалий 24, 25
— — экзогенных месторождений, связанных с литоформациями 73
— — эндогенных месторождений по характеру петрологических связей 76—78
— генетические типы 15
— промышленные типы 15—17
— морфологические типы 123, 212, 213
Методика поисков:
— определение 130
— предварительных 192—199
— общих и детальных 199—208
— поисково-оценочных работ 208—216
Методы поисков полезных ископаемых:
— классификация современных методов 137—139

— космические 141—143
— аэрометоды 144—147
— наземные 147—178
— подводные 178—180
— геологическая съемка 147—150
— минералогические 150—152
— геохимические 152—162
— геофизические 162—174
— горно-буровые 174—178
— подводные 178—181
— глубинность 181
Объекты поисковых работ:
— определение 13—14
— классификация 33—36
Опробование полезных ископаемых 216—221
Ореолы:
— измененных пород 109—111
— минералогические 111
— геохимические 91—100
Оценка:
— аномалий 223, 227
— проявлений полезных ископаемых 227—234
Перфокарты 149, 221
Поиски:
— определение 11
— предварительные 13, 192—198
— общие 12, 199
— детальные 12, 199—208
Поля:
— определение, классификация 19—22
— векторные, скалярные 20
— нормальные, аномальные 23, 34
— геологические, структурные 21, 30, 50
— геохимические 21, 50, 85, 86, 87
— минералогические 21, 50, 100, 103
— геофизические 21, 50, 112, 113
Предпосылки поискового прогнозирования:
— определение, группировки 49, 50
— стратиграфические 51—56
— тектонические 56—65
— геоморфологические 65—69
— литологические 69—75
— петрологические (магматогенные) 75—78
— геохимические 85—90
— минералогические 100—106
— геофизические 112—117
Признаки поискового прогнозирования:
— определение 49, 50
— геохимические 90—100
— минералогические 106—111
— геофизические 113—114
Прогноз месторождений полезных ископаемых:
— определение 38
— геологическое направление 38—40
— математическое направление 40—48
Проявления полезных ископаемых 14, 33, 35, 209, 212—213
Разведка месторождений полезных ископаемых 12, 209
Сеть:
— поисковая 131
— геологическое направление расчета 131—135

— математическое направление расчета 135—137
— геохимического опробования 156, 159
Скрытые месторождения 5, 30, 34, 58, 125—129
— погребенные 34, 126
— слепые 34, 126
Системы:
— периодическая Д. И. Менделеева 89
— поисково-оценочных работ 209
Стадии геологоразведочного процесса 12, 32, 33
Съемка:
— региональная геологическая 12, 192
— полистная 192, 196
— групповая 193, 196
— глубинная 12, 13, 194, 198
Технико-экономическое обоснование (ТЭО) 230
Требования промышленности к полезным ископаемым 19
Уровни прогнозирования 119
Экраны:
— фильтрационные 82
— структурные 83
Эрозионный срез 67—69
Эффективность поисковых работ:
— геологическая 234
— экономическая 234—238

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Введение 4

Раздел I. **Объекты поисковых работ и общие принципы их изучения и классификации** 11

Глава 1. Современные понятия о поисках и стадии поисковых работ 11

Глава 2. Объекты поисковых работ и предъявляемые к ним требования 13

Глава 3. Геологические, минералогические, геохимические и геофизические поля и аномалии как современная основа прогноза и методики поисков полезных ископаемых 19

Глава 4. История развития прогноза и методики поисков полезных ископаемых с позиций анализа геологических и геофизических полей и аномалий 28

Глава 5. Классификация объектов поисковых работ 32

Раздел II. **Прогноз месторождений полезных ископаемых** 38

Глава 1. Общие принципы прогноза полезных ископаемых 38

Глава 2. Предпосылки и признаки поискового прогнозирования . . . 49

Стратиграфические предпосылки 51
Тектонические предпосылки 56
Геоморфологические предпосылки 64
Литологические предпосылки 69
Петрологические предпосылки 75
Петрографические предпосылки 79
Геохимические предпосылки и признаки 85
Минералогические предпосылки и признаки 100
Геофизические предпосылки и признаки 112

Глава 3. Карты прогноза и методика их составления 117

Глава 4. Общие особенности прогноза скрытых месторождений . . . 125

Раздел III. **Методика поисков месторождений твердых полезных ископаемых** 130

Глава 1. Общие принципы методики поисков полезных ископаемых . 130

Глава 2. Классификация и характеристика современных методов поисков полезных ископаемых 137

Космические методы поисков 141
Воздушные методы (аэрометоды) поисков 144
Наземные методы поисков 147

Стр.

Геологическая съемка как метод поисков 147
Минералогические методы поисков 150
Геохимические методы поисков 153
Геофизические методы поисков 162
Горно-буровые методы поисков 174
Подводные методы поисков 178
Общие выводы по методам поисков 181

Глава 3. Ландшафтно-географические условия ведения поисковых работ 182

Глава 4. Комплексирование методов поисков 188

Глава 5. Методика предварительных поисков, сопровождающих региональную геологическую съемку 192

Глава 6. Методика общих и детальных поисков 199

Глава 7. Методика поисково-оценочных работ 209

Глава 8. Опробование полезных ископаемых при поисках и поисково-оценочных работах 216

Газдел IV. **Оценка результатов поисковых работ** 222

Глава 1. Общие принципы перспективной оценки проявлений полезных ископаемых и аномалий различного типа 222

Принципы оценки проявлений полезных ископаемых и аномалий на подстадиях общих и детальных поисков 223
Принципы оценки проявлений полезных ископаемых на подстадии поисково-оценочных работ 227

Глава 2. Экономическая и геологическая эффективность поисковых работ 234

Список литературы 239

Предметный указатель 251

Владимир Васильевич Аристов

ПОИСКИ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Редакторы издательства *Л. И. Березовская, А. И. Панова*
Художественный редактор *В. В. Евдокимов*
Технические редакторы *Л. Н. Шиманова, Е. С. Сычева*
Переплет художника *С. А. Смирновой*. Корректор *А. П. Стальнова*

Сдано в набор 27/III 1975 г. Подписано в печать 26/VI 1975 г. Т-10460.
Формат 60 × 90[1]/16. Печ. л. 16,0. Уч.-изд. л. 17,54. Бумага № 3.
Заказ 180/4548—2. Тираж 8000 экз. Цена 75 коп.

Издательство «Недра», Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.

Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
196006, г. Ленинград, Московский пр., 91.